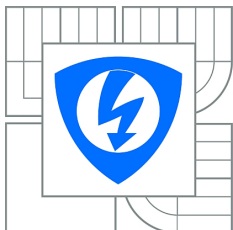


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## AUTOMATIZACE VARNY PIVOVARU

AUTOMATION OF BREWHOUSE

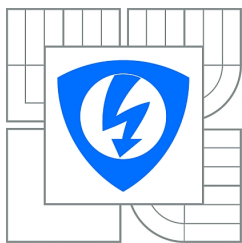
DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. DANIEL KRYKORKA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. RADEK ŠTOHL, Ph.D.



**VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií**

**Ústav automatizace a měřicí techniky**

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
**Kybernetika, automatizace a měření**

**Student:** Bc. Daniel Krykorka  
**Ročník:** 2

**ID:** 121028  
**Akademický rok:** 2015/2016

## NÁZEV TÉMATU:

**Automatizace varny pivovaru**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Zpracujte rešerši týkající se varny pivovaru.
2. Zjistěte původní stav varny - elektrovýzbroj, technologie.
3. Navrhněte a popište modernizaci automatizace varny.
4. Navrhněte a realizujte řídicí systém, komunikace a SCADA.
5. Navrhněte a realizujte algoritmy dávkového řízení.
6. Navrhněte a realizujte celkové SW řešení automatizace varny.
7. Ověřte a vyhodnoťte funkčnost systému.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

ystem Software for S7-300/400 System and Standard Functions. Reference Manual. Siemens AG. 2010.

Dle vlastního literárního průzkumu a doporučení vedoucího práce.

**Termín zadání:** 8.2.2016

**Termín odevzdání:** 16.5.2016

**Vedoucí práce:** Ing. Radek Štohl, Ph.D.

**Konzultanti diplomové práce:** Ing. Pavel Thér

**doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá automatizací varny pivovaru v Ústeckém kraji. První část práce popisuje technologii vaření piva. Druhá část rozebírá provedené změny v technologii a zavedení vzdálené správy. Dále je podrobně popsán návrh a implementace algoritmů do stávajícího PLC a návrh SCADA systému včetně jeho nasazení. Poslední část popisuje postup testování a ladění celého systému včetně analýzy záznamu scezování.

## **Summary**

Diploma thesis presents automatization of brewhouse in Ústecký Region. The first part of thesis describes beer brewing technology. Second describes changes made to the technology and installation of remote service access. Further is discussed the implementation of algorithms in existing PLC, design of SCADA system including it's implementation. The last part describes how commissioning was done, and further describes record of lautering.

## **Klíčová slova**

pivovar, scezovací kád', mladina, PLC, SCADA, TomPack,

## **Keywords**

Brewery, Lauter Tun, wort, PLC, SCADA, TomPack

KRYKORKA, D. *Automatizace varny pivovaru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 57 s. Vedoucí Ing. Radek Štohl, Ph.D.

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Automatizace varny pivovaru jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.“

Bc. Daniel Krykorka

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce Ing. Radku Štohlovi, Ph.D. za metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Pavlu Thérovi za hodnotné konzultace a firmě ProjectSoft HK a.s., která umožnila zpracovat tuto tematiku jako diplomovou práci.

Bc. Daniel Krykorka

# Obsah

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Úvod</b>                               | <b>5</b>  |
| <b>2</b> | <b>Od zrna po půllitr</b>                 | <b>6</b>  |
| 2.1      | Výroba sladu . . . . .                    | 6         |
| 2.2      | Výroba mladiny . . . . .                  | 6         |
| 2.2.1    | Šrotovna . . . . .                        | 7         |
| 2.2.2    | Varna . . . . .                           | 8         |
| 2.2.2.1  | Rmutování . . . . .                       | 8         |
| 2.2.2.2  | Scezování . . . . .                       | 11        |
| 2.2.2.3  | Chmelovar . . . . .                       | 15        |
| 2.2.2.4  | Separace hrubých kalů . . . . .           | 16        |
| 2.2.2.5  | Spílání . . . . .                         | 16        |
| 2.3      | Výroba piva . . . . .                     | 17        |
| 2.3.1    | Hlavní kvašení . . . . .                  | 17        |
| 2.3.1.1  | Svrchní kvašení . . . . .                 | 17        |
| 2.3.2    | Zrání . . . . .                           | 17        |
| 2.4      | Ostatní technologické soubory . . . . .   | 18        |
| <b>3</b> | <b>Návrh řešení</b>                       | <b>19</b> |
| 3.1      | Původní stav . . . . .                    | 19        |
| 3.2      | První fáze . . . . .                      | 21        |
| 3.3      | Druhá fáze . . . . .                      | 24        |
| <b>4</b> | <b>Návrh a realizace řídicího systému</b> | <b>26</b> |
| 4.1      | Řídicí algoritmus . . . . .               | 27        |
| 4.1.1    | Rmutovystírací souprava . . . . .         | 27        |
| 4.1.2    | Scezovací souprava . . . . .              | 27        |
| 4.1.3    | Ošetření havarijních stavů . . . . .      | 32        |
| 4.2      | Řídicí systém . . . . .                   | 33        |
| 4.2.1    | Popis hardwarové konfigurace . . . . .    | 33        |
| 4.2.2    | Programové bloky . . . . .                | 36        |
| 4.3      | Vizualizace . . . . .                     | 38        |
| 4.3.1    | TomPack . . . . .                         | 38        |
| 4.3.2    | Struktura TomPacku . . . . .              | 39        |
| 4.3.3    | Postup realizace . . . . .                | 40        |
| <b>5</b> | <b>Ověření funkčnosti</b>                 | <b>50</b> |



# Seznam obrázků

|      |  |    |
|------|--|----|
| 2.1  | Schéma rmutovystírací soupravy. . . . .                                      | 8  |
| 2.2  | Diagramy jednotlivých rmutovacích postupů. Převzato z [5]. . . . .           | 10 |
| 2.3  | Schéma scezovací soupravy s mladínovou pávní (napravo). . . . .              | 11 |
| 2.4  | Diagram scezování, převzato z [6]. . . . .                                   | 14 |
| 2.5  | Schéma regulace teploty pomocí tepelného výměníku při spílání. . . . .       | 16 |
| 3.1  | Původní schéma sítě. . . . .   | 19 |
| 3.2  | Původní vizualizace pro varnu. . . . .                                       | 20 |
| 3.3  | Původní vizualizace pro výrobu ledové vody. . . . .                          | 20 |
| 3.4  | Ukázka převodníku PN/DP (Hlemholz NETLink <sup>®</sup> PRO Compact) [9]. . . | 21 |
| 3.5  | Nové schéma sítě. . . . .  | 22 |
| 3.6  | Zjednodušený sekvencer scezování. . . . .                                    | 23 |
| 3.7  | Receptura rmutování metodou infuze pomocí předdefinovaných operací. .        | 25 |
| 4.1  | Kroky metodologie podle S88.01. [3] . . . . .                                | 26 |
| 4.2  | Ukázka hardwarové konfigurace. . . . .                                       | 34 |
| 4.3  | Volba PG/PC interface. . . . .   | 34 |
| 4.4  | Diagnostika sběrnice MPI. . . . .  | 35 |
| 4.5  | Dialog <i>module information</i> . . . . .                                   | 36 |
| 4.6  | Struktura TomPack serveru.[7] . . . . .                                      | 40 |
| 4.7  | Ukázka nastavení Uniserveru. . . . .   | 41 |
| 4.8  | Obrazovka TPCConfig. . . . .   | 42 |
| 4.9  | Nová obrazovka vířivé kádě. . . . .  | 42 |
| 4.10 | Nová obrazovka pro výrobu ledové vody. . . . .                               | 43 |
| 4.11 | Obrazovka rmutovystírací soupravy. . . . .                                   | 44 |
| 4.12 | Vizualizace scezovací kádě. . . . .  | 45 |
| 4.13 | Ovládací panel scezovací kádě. . . . .                                       | 46 |
| 4.14 | Obrazovka parametrů scezovací kádě. . . . .                                  | 46 |
| 4.15 | Obrazovka receptury část 1. . . . .  | 47 |
| 4.16 | Obrazovka receptury část 2. . . . .  | 48 |
| 4.17 | Ukázka editace archivní receptury. . . . .                                   | 48 |
| 5.1  | Časový záznam scezování. . . . .   | 51 |



# Seznam tabulek

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 2.1 | Sled výrobních operací při výrobě mladiny. Převzato z [6]. . . . .      | 7  |
| 3.1 | Výčet nových prvků na rmutovystírací soupravě a jejich signálů. . . . . | 23 |
| 3.2 | Výčet nových prvků na scezovací soupravě a jejich signálů. . . . .      | 24 |
| 4.1 | Sekvence a přechodové podmínky scezovací kádě. . . . .                  | 28 |
| 4.2 | Nové přidání datové bloky. . . . .                                      | 38 |
| 4.3 | Nové přidání funkce. . . . .  | 39 |

# 1. Úvod

Pivovarství patří mezi potravinářské biotechnologie s tradicí několika tisíciletí. Podle vyhlášky 335/1997 Sb, je pivo definováno jako pěnivý nápoj vyrobený zkvašením mladiny připravené ze sladu, vody, chmele, nebo chmelových produktů, který vedle kvasným procesem vzniklého ethanolu a oxidu uhličitého obsahuje i určité množství neprokvašeného extraktu.

V dnešní době se stupňují požadavky na zajištění kvality, ekonomiky provozu a variabilitu produktů. Proto je nezbytné postupné zdokonalování starých systémů, nebo dokonce výměna za nové provozy. Budoucnost směřuje k plně automatizovaným systémům, a k přechodu z šaržovního systému na kontinuální provozy. To je však na úkor flexibility systému. Na obsluhu se však klade čím dál větší nárok. Stává se z nich preventivní údržba, musejí vyhodnocovat data a trendy, a navrhnout nápravná řešení. Někde je obsluha varny zároveň i kotelníkem. Jak se profese sdružují, tak se dává větší přednost lidem s technickým vzděláním před lidmi s pivovarským vzděláním, což komplikuje řešení technologických problémů. Vzhledem k tomu, že se v pivovarství pracuje s variabilním živým organismem, je v dohledné době nezbytné, aby do procesu bylo zahrnuto lidské rozhodování. [4]

Rozsah automatizace v pivovarech se pohybuje od velmi jednoduchých aplikací (hlídání teploty), až po složité procesy (scezovací kád'). Řeší se jak kontinuální procesy, tak dávkové, které dnes ještě stále převládají. Narážíme na prvky, které jsou čistě manuální (ruční ventil), poloautomatické (koleno/klapka se zpětnou hláškou), nebo plně automatické (pneumatický ventil). Tyto prvky se mohou vyskytnout v různé míře a kombinacích na jedné technologii. Podle dostupných informací z čidel je možné nějaké procesy plně automatizovat (celý proces řídí automat), poloautomatizovat (obsluha rozhoduje, kdy se má jaký proces provádět). Pokud nezískáváme dostatečné informace o procesu, zůstává vše na obsluze. Je však třeba do budoucna počítat s tím, že se bude nějaký pohon automatizovat, nebo někde přibude čidlo, na které např. dosud nevyzbyly peníze, nebo vznikl nový požadavek na hlídání procesního stavu. Při správném návrhu systému se dá tak do budoucna ušetřit velké množství času. [2]

Tato práce se zabývá hledáním optimálního řešení pro zákazníka, který se postupně snaží modernizovat svoje provozy. Konkrétně se zde jedná o:

- automatizaci scezování
- vzdálené řízení rmutování
- modernizaci SCADA systému
- zavedení vzdálené správy
- optimalizaci parametrů spílání

## 2. Od zrna po püllitr

Proces výroby piva je rozdělen do tří základních etap. Jedná se vždy o výrobu meziproduktů, která se provádí vždy výrazně odlišným způsobem, a někdy i na úplně jiném místě. Tato kapitola je zaměřena na technologický postup výroby těchto meziproductů. Konkrétně se jedná o slad, mladinu a výsledné pivo. Samotná práce se pak zabývá automatizací výroby mladiny z našrotovaného sladu.

### 2.1. Výroba sladu

Proces výroby spočívá ve třech základních fázích. Po rozboru a příjmu ječmene nastávají **máčení**, **klíčení** a **hvozdění**. Jejich cílem je přeměnit ječmen na slad bohatý na enzymy a extrakt za minimálních nákladů a ztrát.

Máčení spočívá v řízeném zvyšování obsahu vody v zrně pro klíčení a zahájení enzymatických reakcí. Zároveň se zrno umyje od lehkých nečistot a zbaví se nežádoucích látek.

V průběhu klíčení probíhá tvorba a aktivace nových enzymů. Nejdůležitějšími enzymy ve sladu jsou amylázy. Amylázy se uplatňují při rmutování, kde odbourávají škroby. Výsledkem je zelený slad.

Hvozdění zastavuje klíčení, stabilizuje slad pro skladování (snižuje obsah vody) a způsobuje tvorbu barevných a aromatických látek, které jsou charakteristické pro jednotlivé druhy sladů a piv. Na konci hvozdění probíhá odkličování sladu (zbavení kořínků, poškozených zrn a prachu), dochlazení a uskladnění. [6]

### 2.2. Výroba mladiny

Varní zpracování spočívá v převedení extraktivních látek sladu za pomoci enzymů do roztoku, získaný roztok sladiny oddělit od nerozpustných zbytků mláta, a povařením sladiny s chmelem produkt ohořčit a tepelně stabilizovat. Výsledkem je mladina, ze které se oddělí kaly, a zchladí se na zákvasnou teplotu.

Sled jednotlivých procesů s meziproducty je stručně sepsán v tabulce 2.1. Jednotlivé technologické soubory jsou pak podrobněji rozepsány v jednotlivých podsekcích, které jsou součástí jak velkých, tak regionálních minipivovarů.

Příjem a čištění sladu se provádí od pivovaru k pivovaru různě. Výrazně záleží na velikosti (roční produkci) a finančních možnostech jednotlivých provozů. Zatímco někde nosí pytle se sladem ze skladu do druhého patra vařiči, jinde se nachází celý technologický soubor, který běží plně automaticky.

Tabulka 2.1: Sled výrobních operací při výrobě mladiny. Převzato z [6].

| Název operace          | Popis činnosti  | Technologické zařízení                            | Získaný produkt                          |
|------------------------|---|---|--|
| čištění sladu          | oddělení mechanických nečistot včetně kovových příměsí a prachu | čistička, odkaménkovač, magnet, aspirace          | vyčištěný slad, odpady                   |
| kondicionování sladu   | zvlhčení pluchy sladového zrna                                  | kondicionovací šnek                               | zvlhčené sladové zrno                    |
| šrotování              | nadrcení sladu  | šrotovník + výdržník                              | sladový šrot                             |
| vystírání              | smísení šrotu s vodou   | vystírací pánev                                   | vystírka                                 |
| rmutování              | řízený vzestup teploty, působení enzymů                         | vystírací a rmutovací pánev                       | sladové dílo                             |
| scezování              | oddělení extraktivního roztoku od nerozpustných zbytků zrna     | scezovací kád' nebo sladinový filtr               | předek                                   |
| vyslazování            | vyložení mláta horkou vodou                                     | scezovací kád' nebo sladinový filtr               | výstřelky, mláto                         |
| chmelovar              | povaření sladin pohromadě (předek + výstřelky) s chmelem        | mladinová pánev                                   | horká mladina                            |
| odloučení hrubých kalů | oddělení hrubých kalů z mladiny                                 | usazovací kád', vířivá kád'                       | horká mladina, hrubý kal                 |
| chlazení mladiny       | ochlazení mladiny na zákvasnou teplotu                          | deskový chladič mladiny                           | studená mladina                          |
| odloučení jemných kalů | částečné oddělení studených kalů z mladiny                      | usazovací kád', odstředivka, filtr, flotační tank | studená mladina k zakvašení, odpadní kal |

### 2.2.1. Šrotovna

Šrotovna se nachází zpravidla nad varnou. Po přefiltrování slad putuje přes váhu do šrotovníku, a následně do šrotového síla.

Pro vážení se nejčastěji používá výklopná váha, která má pevně danou váhu výklopu. Každý výklop pak dává puls do řídicího systému. Správné namačkání sladu výrazně ovlivňuje průběh rmutování a scezování. „U šrotu pro scezovací kád', která je v České republice nejvíce rozšířena, je snaha co nejméně poškodit pluchu a dobře vymlít endosperm zrna.“ [6]

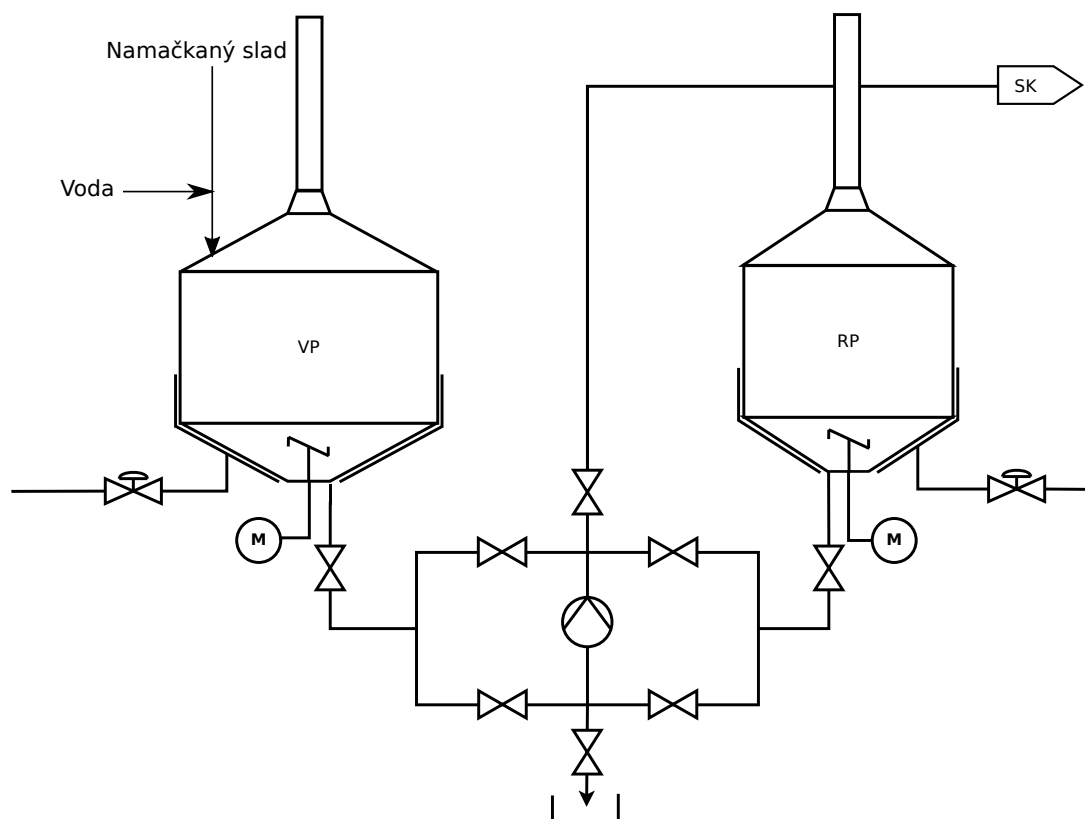
## 2.2.2. Varna

Na varně rozlišujeme nádoby dvou základních typů: kád' a pánev. Pánev je na rozdíl od kádě vyhřívána párou. Každá nádoba má své jméno podle činnosti, kterou vykonává. Podle těchto dvou principů je sestaven název každé nádoby na varně.

Každá varna obsahuje minimálně 2 nádoby (rmutovystírací mladinová pánev a scezovací kád'). U opravdu malých pivovarů lze scezovací kád' použít i jako vířivou kád'. Scezovací kád' je z praktických důvodů vždy o něco výš, než ostatní nádoby (lze scezovat i samospádem). Klasická 4-nádobová varna se skládá z rmutovystírací soupravy, scezovací (SK) a mladinové pánve (MP).

### 2.2.2.1. Rmutování

Klasická rmutovystírací souprava se skládá z vystírací (VP) a rmutovací pánve (RP). Obě pánve jsou válcovitého tvaru a jsou vybaveny míchadlem, mycími hlavicemi a topnou plochou. Z hlediska receptury jsou zde dvě klíčové veličiny, které musíme řídit. Jedná se o objem v nádobách a teplotu. Jednoduché schéma je znázorněno na obrázku 4.11. Vlevo se nachází větší vystírací pánev, vpravo pak menší rmutovací pánev.



Obrázek 2.1: Schéma rmutovystírací soupravy.

Vaření začíná **vystírkou**, kde se smíchá slad s vodou ve vystírací pánvi. Nejdříve napustíme vodu, a pak při zapnutém míchadle přisypáváme našrotovaný slad. Větší objem vody zlepšuje vyluhování, ale zase se musí více odpařit při chmelovaru. Různý objem

vody dáváme pokud vaříme světlé, nebo tmavé pivo. U tmavého piva dáváme méně. Po promíchání a stabilizování teploty na 37 °C a zapáře je možné odebrat první rmut.

Následuje **zapařování** vodou (nejčastěji u dvourmutového postupu), které zvedne teplotu na 52 °C. Zapářková voda má teplotu 80 °C.

Způsob **rmutování** výrazně ovlivňuje složení mladiny, určuje chuťový profil piva, a liší se i pro různé druhy piv. Rozlišujeme **infuzní** a **dekokční** postup rmutování podle způsobu zvyšování teploty. Při infuzním způsobu se celá várka zahřívá pohromadě až na odrmutovací teplotu. Při dekokčním způsobu se oddělí část várky (rmut), který se zpracovává samostatně. Po povaření se vrátí zpět a zvedne tak celkovou teplotu várky. Objem spouštěného rmutu musí odpovídat požadovanému zvýšení teploty celkového díla po jeho vrácení. Objem se vypočte podle následující rovnice: [6]

$$V_r = \frac{V_{vy}(T_3 - T_1)}{T_2 - T_1} \quad (2.1)$$

$$V_{vy} = V_{vz} + 0,7 \cdot G_s \quad (2.2)$$

$V_r$  – objem rmutu [hl]

$V_{vy}$  – celkový objem vystírky [hl]

$T_1$  – teplota zbytku ve vystírací pánvi [°C]

$T_2$  – teplota vráceného rmutu [°C]

$T_3$  – požadovaná teplota po vrácení rmutu [°C]

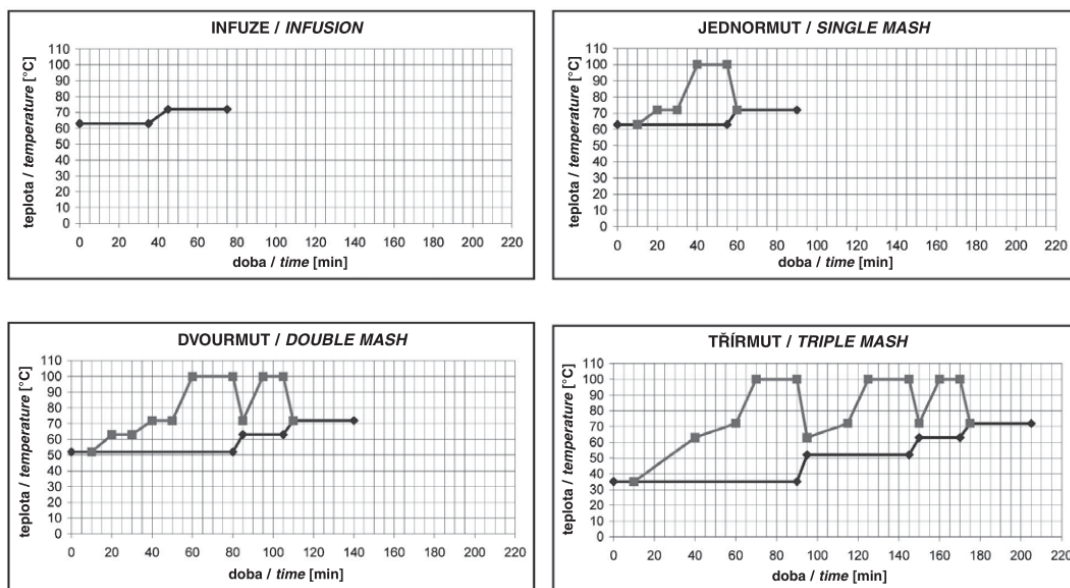
$V_{vz}$  – objem nálevu [hl]

$G_s$  – hmotnost sladu [100 kg]

Podle počtu opakování tohoto postupu rozlišujeme jednorumutový až třírumutový dekokční způsob.

Cílem rmutování je dostat co nejvíce extraktu varních surovin do roztoku. Vede se tak, aby dosažitelný způsob prokvašení odpovídal vyráběnému typu piva, a jodová reakce na škrob byla negativní. K tomu se využije biochemických procesů, které začaly již u klíčení zrna. Větší množství vysokomolekulárních látek je možno převést do roztoku až po jejich rozštěpení na jednodušší formy sladovými enzymy. Vzhledem k tomu, že při různých teplotách probíhají různé procesy, má teplota zásadní vliv nejenom na průběh celého procesu, ale i kvalitu a vlastnosti sladiny. Při různých teplotách se aktivují různé látky, a jiné s rostoucí teplotou postupně inaktivují. Proto při různých teplotách probíhají různé reakce a zvolený postup rmutování tak výrazně ovlivňuje vlastnosti výsledného produktu. Nejčastější typy rmutování jsou v diagramech srovnány na obr. 2.2.

Klíčové teploty pro štěpení škrobů jsou 62 – 64 °C (nižší cukrotravná teplota) a 72 – 75 °C (vyšší cukrotravná teplota). Nejvíce maltózy (sladového cukru) vzniká při nižší cukrotravné teplotě, kde má svoje teplotní optimum  $\beta$ -amyláza. Při dosažení této



Obrázek 2.2: Diagramy jednotlivých rmutovacích postupů. Převzato z [5].

teploty začíná prodleva 15 – 20 min. Působení  $\beta$ -amylázy ovlivňuje dosažitelný stupeň prokvašení. Z nižší cukrotvorné teploty na vyšší se teplota zvyšuje jen pozvolna. Postupně se  $\beta$ -amyláza stává inaktivní a současně narůstá aktivita  $\alpha$ -amylázy. Teplotní optimum  $\alpha$ -amylázy je při vyšší cukrotvorné teplotě. Po jejím dosažení je zcukření dosaženo prakticky ihned. [6]

Úroveň zcukření se na varně kontroluje pomocí jodové zkoušky. Na dlaždici dáme vzorek rmutů, aby se ochladil, a přidáme roztok jodu a jodidu draselného, jejichž absorpcí na škrob vzniká modré zbarvení.

**Infuze** je nejjednodušší způsob rmutování. Postačí pouze jedna rmutovací nádoba, což snižuje pořizovací náklady, zároveň zkracuje dobu rmutování. Vystírá se na 50 °C, nebo rovnou na nízkou cukrotvornou teplotu (podle úrovně rozluštění sladů). Po 40 minutách se postupně zvedne teplota na 72 °C, a po dalších 20 minutách na odrmutovací teplotu. [6] Oproti dekokčním způsobům vaření má však pivo světlejší barvu a méně výraznou chuť a hořkost. Při sensorickém srovnání končí tento postup na předposledním místě. [5].

**Jednornutový postup** se vystírá při teplotě 50 °C, po 15 minutách odpočinku se zvedne teplota na 62 °C, počká se dalších 15 minut a odebere se rmut. Ten se přivede na vyšší cukrotvornou teplotu a po zcukření k varu. Poté se čeká dalších 15 minut a vrátí se zpět, kde zvedne teplotu celého díla na 72 °C, při které se ponechá cca 20 minut. Celková doba procesu činí cca 160 minut. [6] Při sensorickém porovnání vychází jako nejhorší. [5]

**Dvourmutový postup** je klasický český postup při vaření světlého piva plzeňského typu při zpracování středně rozluštěných sladů. Vystírá se do vody o teplotě 37 °C s následnou zapárkou. První rmut se pomalu ohřívá na 63 °C, po prodlevě se zvedne teplota ještě pozvolněji na 73 °C, při které dokonale zcukří. Po zcukření se přivede rmut co nejrychleji k varu. Po prodlevě se rmut pomalu vrátí vystírací pánve, kde zvedne teplotu

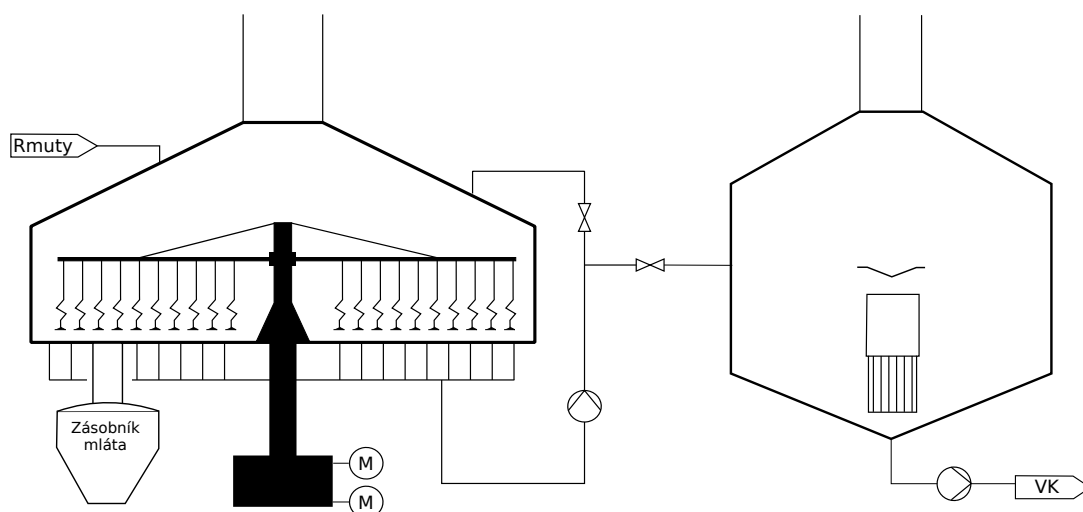
celého díla na nižší cukrotvornou teplotu. Druhý rmut se přivede na vyšší cukrotvornou teplotu a po prodlevě se povaří 15 minut. Po vrácení se podle objemu rmutu zvedne teplota celého díla na vyšší cukrotvornou teplotu, nebo rovnou na odrmutovací teplotu. V prvním případě se podporuje pěnivost, ale musíme celé dílo ještě přehřát na odrmutovací teplotu. Proces trvá 130 – 190 minut. [6] Při tomto postupu se do piva dostane nejvíce polyfenolů a dusíkatých látek. V sensorickém srovnání končí na druhém místě. [5]

**Třírmutový postup** je klasický postup dekokčního rmutování, při kterém lze s dobrým výsledkem zpracovat i hrubý, špatně rozluštěný slad. Vzhledem k jeho zdoluhavosti a energetické náročnosti se dnes využívá zřídka, a to převážně u speciálních černých piv. Vystírá se na 37 °C se zapáčkou, po které se odtahuje první rmut, po jehož vrácení vzroste teplota díla na 50 °C. Dále se pokračuje stejně jako u dvourmutu. Druhý rmut po vrácení zvedne teplotu díla na 62 – 65 °C, třetí pak na odrmutovací teplotu. Proces trvá cca 260 minut. [6] Ve srovnání má však nejvyšší hodnoty barvy, hořkosti a byl v sensorické analýze hodnocen nejlépe. [5].

#### 2.2.2.2. Scezování

Při scezování se využívá filtračních vlastností mláta. Nejprve se oddělí předeek (hlavní podíl suspenze sladiny), poté se mláto promývá horkou vodou, pomocí které získáme výstřelky. Pokud jsme dosáhli požadovaného objemu sladiny pohromadě, a cukernatost poledních výstřelků je cca 1%, tak se ukončuje scezování a začíná chmelovar. Zbylé mláto se využívá jako krmivo pro hospodářskou zvěř. [6]

V scezovací soupravě se nachází kypřidlo, neboli kopačka, hydraulika a pohony pro ovládání kopačky a vyhrnovacích lišt mláta, scezovací čerpadlo, víko s pohonem pro výhoz mláta, hlavice pro přívod vyslazovací vody a pro čištění, a nerezové síto, na kterém se usadí mláto. Kypřidlo se skládá z 2 až 8 ramen (podle velikosti scezovací kádě), ne kterých jsou připevněny nože, které zkypřují mláto.



Obrázek 2.3: Schéma scezovací soupravy s mladinovou pání (napravo).



Řízením výšky a rychlosti kypřidla ovlivňujeme nejenom rychlost scezování, ale i zákal mladiny. Vyhrnovací lišta je mechanicky spojena s kypřidlem. Její vyháknutí a zaháknutí se provádí zdvihem kypřidla na určitou výšku. Z názvu je patrné, že slouží pro vyhrnování mláta. Pro výhoz mláta se používá jiný pohon, než pro zkypření, protože požadujeme značně jiné rychlosti. Zatímco pohyb při scezování je tak pomalý, aby se nám nezakalila sladina, že je těžko pozorovatelný, tak při výhozu mláta je pohyb tak rychlý, že tu hrozí velké nebezpečí úrazu.

Při automatickém čištění požadujeme, aby byl vyvinut velký tlak na stěny kádě, proto vyžadujeme různé hlavice pro čištění a vyslazování. Protože při scezování by čistící hlavice způsobovaly vymílání mláta u stěn kádě, což však nepříznivě ovlivňuje samotné scezování, protože si narušíme filtrační vrstvu. Při dopouštění výstřelkové vody vyžadujeme co největší rovnoměrnost dopadající vody. Zároveň musíme dopustit vodu dříve, než se dostane mláto na vzduch.

Na rozdíl od rmutování se jedná o převážně fyzikální proces. Jak je patrné z rovnice 2.3, je kvalita scezování závislá na mnoha faktorech. Významnou roli hrají jakost sladu, mechanické složení šrotu, způsob rmutování, struktura mláta, zatížení scezovacího dna, a samozřejmě technika scezování.

Rychlost scezování je popsána upravenou Darcyho rovnicí: [6]

$$Q = \frac{V}{t} = K (P_1 - P_2) \cdot \frac{A}{\mu \cdot L} \quad (2.3)$$

$Q$  – průtok sladin, objem  $V$  v čase  $t$

$K$  – průměrná propustnost mláta

$P_1$  – tlak pod scezovacím dnem

$P_2$  – tlak nad scezovacím dnem

$A$  – plocha scezovacího dna

$\mu$  – viskozita sladin

$L$  – výška vrstvy mláta

Z rovnice 2.3 dále vyplývá, že z veličin, které můžeme během procesu ovlivnit, je tlaková difference na scezovacím dně. Tu nám krom vodního sloupce vytváří i mláto. Pokud čerpáme mladinu a mláto se nám „utáhne“, tak můžeme ve scezovacím věnci vytvořit i podtlak. U moderních scezovacích kádí se měří tlak pouze ve scezovacím věnci, a difference tlaku se počítá z rozdílu vypočtené a měřené hodnoty.

$$k = \pi \frac{d^2}{4} \cdot 1 \text{ cm} \quad (2.4)$$

$$P_S = P_{POC} - (V_{SD} - V_{VV}) \cdot \frac{1}{k} \quad (2.5)$$

$$\Delta P = P_S - P_M \quad (2.6)$$

$k$  – scezovací konstanta [hl/mbar]

$d$  – průměr scezovací kádě [m]

$P_S$  – vypočetný srovnávací tlak [mbar]

$P_M$  – měřený tlak ve věnci SK [mbar]

$P_{POC}$  – hodnota  $P_M$  na konci čerpání rmutů [mbar]

$V_{SD}$  – objem scezeného díla [hl]

$V_{VV}$  – objem napuštěné výstřelkové vody [hl]

Pomocí  $\Delta P$  se řídí výška kypřidla, jeho rychlost se zase odvíjí od jeho výšky (čím níže je kypřidlo, tím pomaleji se otáčí).

Vzhledem k tomu, že se jedná o nelineární soustavu, vlastnosti sladu nejsou konstantní, existují návrhy adaptivních modelů s využitím neuronových sítí pro řízení scezování. [10]

Scezování začíná **odvzdušněním scezovacího systému**. To spočívá v napuštění horké vody spodní cestou pod síta tak, aby pokryla jalové dno a zároveň vyhřála kád'. Teplá voda se bere ze zásobníku teplé vody. Pokud je nádrž na teplou vodu vybavena vyhříváním, lze jednoduše pomocí binární regulace držet teplotu v nádrži a později jemně regulovat teplotu pomocí trojcestného ventilu.

To funguje značně lépe, než v druhém případě, kde musíme vodu dohřívát pomocí tepelného výměníku. U tepelného výměníku máme značné dopravní zpoždění a vzhledem k četnému krátkému dopouštění je značně problematické držet konstantní teplotu. To platí obzvláště pokud máme proměnlivé podmínky a neměříme všechny veličiny na výměníku, ale pouze výstupní teplotu.

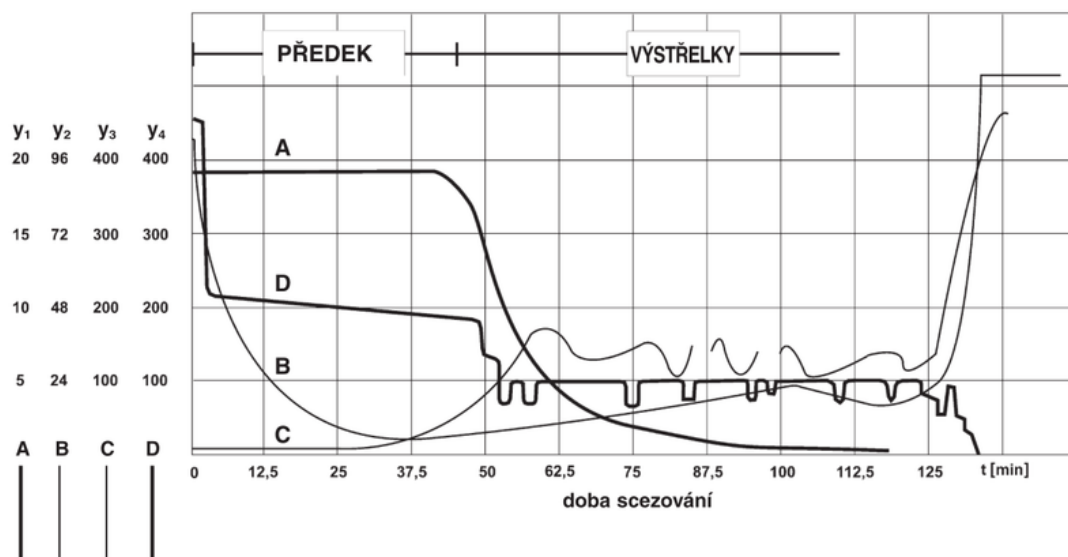
Následuje **čerpání díla** do scezovací kádě. Pokud se čerpá vrchem, tak se buď natočí rameno kypřidla tak, aby se dílo zbrzdilo a zároveň více rozptýlilo, nebo se nechá kypřidlo běžet, aby se mláto co nejrovnoměrněji rozptýlilo.

Nastává **odpočinek**, kde jsou všechny pohony vypnuty a všechny klapky uzavřeny. Čeká se 15 - 30 minut, kdy se mláto postupně usazuje. Pokud můžeme čerpat dílo spodní cestou, je možno čekání výrazně zkrátit [6].

Po odpočinku následuje **podrážení**, jehož cílem je odstranit kaly z prostoru mezi sítím a jalovým dnem. Zároveň se zpevní filtrační vrstva. Podrážení se provádí pomocí scezovacích kohoutů, nebo čistě pomocí scezovacího čerpadla. Čerpadlo běží tak dlouho, dokud není dosažen předdefinovaný diferenciální tlak. Pokud je stále moc vysoký zákal,

tak nastává drobná prodleva a druhé podrážení, u kterého se čeká na pád zákalu pod předdefinovanou hodnotu.

Po dosažení hodnoty zákalu se přepnou klapky a začíná **stékání předku**. Pokud během scezování přeroste zákal kritickou hodnotu, přepnou se klapky opět zpět do cirkulace, dokud hodnota zákalu opět neklesne. S rostoucím objemem scezené mladiny pozvolna roste průtok mladiny dokud nedosáhne žádaného scezovacího výkonu. Pokud bychom zvedali průtok moc rychle, mohl by se moc rychle zvednout odpor mláta.



Obrázek 2.4: Diagram scezování, převzato z [6].

$y_1$  – koncentrace sladiny [%] - A

$y_2$  – zákal [j.EBC] - B

$y_3$  – tlaková difference [mm vodního sloupce] - C

$y_4$  – výška kypřidla nad scezovacím dnem [mm] - D

Když se hladina sladiny začne přibližovat mlátu, tak přeručíme scezování a započneme **vyslazování**. Nejprve napustíme předdefinovaný objem vyslazovací vody, která má teplotu 76 – 78 °C [6]. Po napuštění první dávky vody se znovu zahájí scezování při stejné rychlosti jako při stékání předku. Postupně je možno rychlost scezování zvyšovat, ovšem před koncem scezování je nutno rychlost postupně snižovat, aby jsme nestáhli moc kalů. Vyslazovat je možno buď nepřetržitě, kde se dopouští tolik vody, kolik jí právě odtéká, nebo na 2 – 3 výstřelky. První metoda je sice rychlejší, ale při druhé dosahujeme vyšší varní výtěžek. [6] Scezování se ukončuje, pokud jsme dosáhli žádaného objemu díla pohromadě a koncentrace výstřelků není vyšší jak 1%. Posledním výstřelkům se říká patoky. Ve

scezovací kádi by jich mělo zbýt co nejméně. Zatímco v malých pivovarech se lijí patoky na kanál, tak ve velkých pivovarech se strádají ve sběrači patoků, a používají se při další várce pro vystírku.

Pokud se mláto utáhne, je nutné ho prokopat. To se provede krátkým protočením kopačky v nejnižší poloze. Během tohoto procesu se automaticky přepne do cirkulace a čeká se na pád zákalu. Alternativním procesem může být puštění vody pod síta. To lehce nadzvedne a rozčeří mláto. Když nám moc prudce začne klesat diferenciální tlak, tak je nutné zpomalit scezování. Pokud se to děje opakovaně, je nutno přehodnotit všechny předcházející procesy od šrotování po samotnou recepturu scezování.

Teoretický průběh scezování za pomoci scezovací kádě je znázorněn na obrázku 2.4. Krom scezovací kádě lze použít sladinové filtry nebo rotační vakuový filtr, ale v našich podmínkách tyto stroje prakticky nenalezneme.

Po dokončení je třeba vyhodit mláto. To znamená vyháknout kopačku (vyhrnovací lišty sjedou dolů) a roztočit kopačku na vysoké otáčky. Při postupném snižování výšky kypřidla se mláto vyhrnuje do otevřených otvorů, kde se nachází mlátník (zásobník mláta) nebo šnekový dopravník.

Po dokončeném výhozu je nutno scezovací káď několikrát propláchnout, aby jsme se zbavili veškerých zbytků mláta, než začneme znovu čerpat do scezovací kádě.

### 2.2.2.3. Chmelovar

Jak již název napovídá, jedná se o vaření díla s chmelem. To se děje po scezování v mladinové pánvi. Výsledným produktem je zde stabilizovaná horká mladina o požadované koncentraci.

Varní soustava se skládá z mladinové pánve a čerpadla. Může dále obsahovat sběrač sladin, což je válcová dobře izolovaná nádoba. Sběrač se dimenzuje od objemu předku, až po objem celého díla pohromadě podle počtu várek za den. Mladinová pánev je obsazena buď vnějším, nebo vnitřním vařákem. Vnitřní vařák může být dále vybaven čerpadlem, které podporuje cirkulaci mladiny v pánvi. Mladinová pánev s vnitřním vařákem je znázorněna na obr. 2.3.

Při vaření mladiny dochází k odpaření části vody, kterou bylo nutno přidat pro dokonalé vyslazení mláta. Větší odpar znamená i větší energetické nároky. Chmelovar však musí být dostatečně dlouhý a intenzivní. Při varu mladiny dochází k inaktivaci enzymů, koagulaci bílkovin, tvorbě lomu, poklesu hodnoty pH a nárůstu barvy. Zároveň se oprostí o zárodky mikroorganismů. Velké a dobře ohraničené vločky (lom mladiny) a čirá mladina jsou znakem správného průběhu chmelovaru. Zmíněné vločky jsou tvořeny bílkovinami, které nejprve denaturují a následně koagulují. [6]

Chmel, který se do mladiny přidává až na třikrát, dodává mladině hořkou, chmelovou chuť a podporuje vylučování bílkovin. Čím později se chmel dává, tím větší je zbytkový podíl silic v mladině. Ke chmelení se dnes nejčastěji používá granulovaný chmel a chmelový

extrakt. Hlávkový chmel se používá jen výjimečně, protože se obtížněji skladuje, dávkuje a musí se dále vařit. Chmelové extrakty se mísí s mladinou již při čerpání do mladinové pánve. Naopak aromatický chmel se přidává jako poslední.

#### 2.2.2.4. Separace hrubých kalů

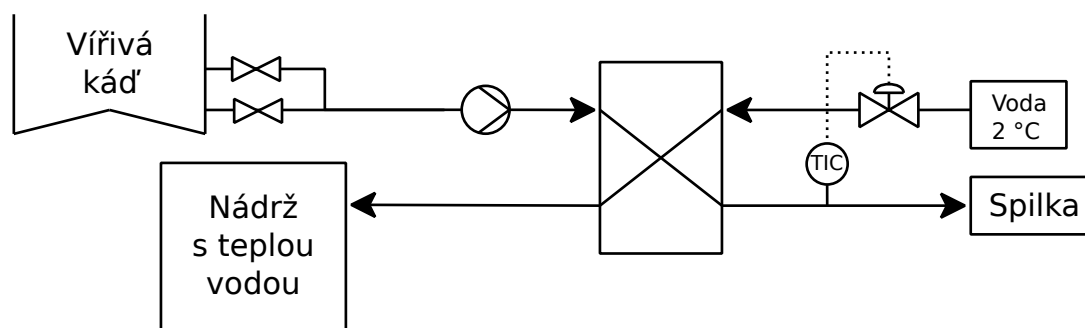
Na konci chmelovaru se mladina maximální rychlostí přecerpe tangenciálně do vířivé kádě. To zapříčiní rotační pohyb, při kterém kal pomalu sedá na střed dna. Využívá se zde efekt „čajového hrnečku“. Když vytvoříme vír v hrnku, tak se nečistoty začnou shromažďovat na středu dna.

Vířivá kád' je válcovitého tvaru a má mírně vypouklé dno, kde se usazují nečistoty a zbytky chmele. Vířivá kád' bývá umístěna v podsvětí varny a je vybavena, krom hlavic pro chemické čištění, standardně horní a dolní výpustí, což je znázorněno na obr. 2.5. Výpust' je vyrobena tak, aby odtah již čiré mladiny byl ze strany válcového pláště a podpořil tak dál rotační pohyb.

Po 20 – 30 minutách po načerpání se začíná se spíláním. Zbylé kaly se přidávají do scezovací kádě po stažení předku, nebo se rovnou likvidují. Zbývá zde totiž tolik hořkých látek, že je nevhodné přidávat je k mlátu pro hospodářská zvířata.

#### 2.2.2.5. Spílání

Při spílání dochází k ochlazení mladiny z 97 – 95 °C na zákvasnou teplotu, která se výrazně liší podle typu piva a použitých kvasnic (kvasinky svrchního kvašení mají vyšší tepelnou odolnost). Zároveň se mladina provzdušní, aby jsme vytvořili vhodnější prostředí pro kvasinky.



Obrázek 2.5: Schéma regulace teploty pomocí tepelného výměníku při spílání.

Chlazení probíhá na deskovém chladiči, který se musí nejprve zchladit a až poté se postupně začne zvedat průtok mladiny. Průtok se snižuje až na konci spílání. Z počátku se spílá přes horní klapku (horní spílání) a až dostatečně klesne hladina, přepne se na spodní klapku (spodní spílání). Tento způsob udržuje vír ve vířivé kádě a zároveň minimalizuje riziko rozvření usazeného koláče.

Ke chlazení se používá voda o teplotě 2 °C, která se chladí glykolem nebo čpavkem. Po ochlazení mladiny by se teplota vody měla pohybovat okolo 80 °C.

## 2.3. Výroba piva

V této fázi je zakončena výroba mladiny a začíná výroba piva. Ta spočívá ve dvou fázích, a to kvašení a zrání.

### 2.3.1. Hlavní kvašení

Při kvašení se snažíme řízeným způsobem přeměnit sacharidy na alkohol a CO<sub>2</sub>. Během tohoto procesu se vytváří chuťový charakter piva. CO<sub>2</sub> se produkuje ve velkém množství a může unikat volně do okolí. Tento plyn je těžší jak vzduch a pokud se jeho hladiny na spilkách neměří, může se jednat o velmi nebezpečné prostředí. Během kvašení se kvasinky postupně shlukují a sedimentují na dně.

Zákvasná teplota se pohybuje v rozmezí 6 – 12 °C. Celková doba hlavního kvašení je obvykle 6 až 10 dní a je závislá na stupňovitosti mladiny. Po této době se oddělí zelené pivo od usazených kvasnic a přečerpá se do ležáckých tanků.

Hlavní neboli bouřlivé kvašení se provádí buď tradičně ve spílečných kádích, nebo nově v cylindrokónických tancích (CKT). **Spílečné kádě** jsou otevřené kádě tvaru kvádru, které jsou dnes výhradně z nerezů.

U **CKT** je jednodušší automatizace, kvalitnější sanitace a rychlejší fermentace. [6]. Podle velikosti a výkonu varny se může jednat o nádoby velikosti 2 – 20 m. Obvykle se musí takový tank naplnit do 12 hodin, nejdéle však do 24 hod. [6]

#### 2.3.1.1. Svrchní kvašení

Oproti spodnímu kvašení se při svrchním kvašení používá jiný druh kvasnic a zakvašuje se na značně vyšší teplotu. Tato metoda se používá u piv typu ALE a u pšeničných piv.

Při svrchním kvašení je zákvasná teplota 15 – 18 °C, maximálně však 28 °C. Na konci kvašení se snižuje teplota na 20 °C. Celková doba kvašení je 5 dnů.

### 2.3.2. Zrání

Zrání nebo také dokvašování probíhá v ležáckých tancích. Ty jsou zpravidla umístěny v izolované místnosti, ve které se udržuje teplota v rozmezí –2 – 3 °C. Tradičně pivo zraje 21 – 71 dnů v závislosti na stupňovitosti. V závislosti na použité technologii se tato doba může pohybovat v rozmezí 1 – 10 týdnů. „Cílem dokvašování piva je dosažení optimálních organoleptických vlastností, nasycení oxidem uhličitým a vyčerení.“ [6]

Po zmiňované době je pivo hotové. V některých pivovarech můžeme nalézt další technologie pro úpravu piva a to v různých kombinacích. Jedná se o filtraci, pasteraci (tunelový paster <sup>1</sup> nebo pomocí výměníků) a HGB (High gravity brewing; ředění piva).

Na konci této cesty se pivo dočasně přečerpá do přetlačných tanků <sup>2</sup>, odkud se dál čerpá na stáčecí linku.

## 2.4. Ostatní technologické soubory

Pro správné fungování pivovaru jsou nezbytné další technologické soubory, jako jsou např. vodní hospodářství, CIP stanice, kvasničné hospodářství atd.

Vodní hospodářství automatizuje výrobu a udržování vody s různými parametry, jak byly výše v textu popsány. Kvasničné hospodářství je doménou větších pivovarů, kde se zajišťuje dostatečné množství kvasnic o žádané kvalitě. Kvasnice se zde krmí mladinou.

Chemická sanitace (CIP; clean in place) je složitý proces, který ve zkratce zajišťuje nezbytné hygienické podmínky v nádobách a potrubích za minimalizace času a ztráty chemikálií. Jedná se o soubor až 200 procedur, ze kterých se skládá receptura pro čištění objektu. Každý objekt má svou vlastní recepturu a specifika. Pro čištění se používá voda, NaOH, HNO<sub>3</sub> a případně ještě desinfekce nebo aditiva. Dávkování chemikálií se řídí pomocí vodivostních sond. Krom Vodivosti se hlídá teplota roztoku, tlak v potrubí a doba cirkulace.

---

<sup>1</sup>Tunelový paster se používá na pasterování piva po lahvování.

<sup>2</sup>Vysoké válcovité tanky se stálým přetlakem 1 kPa

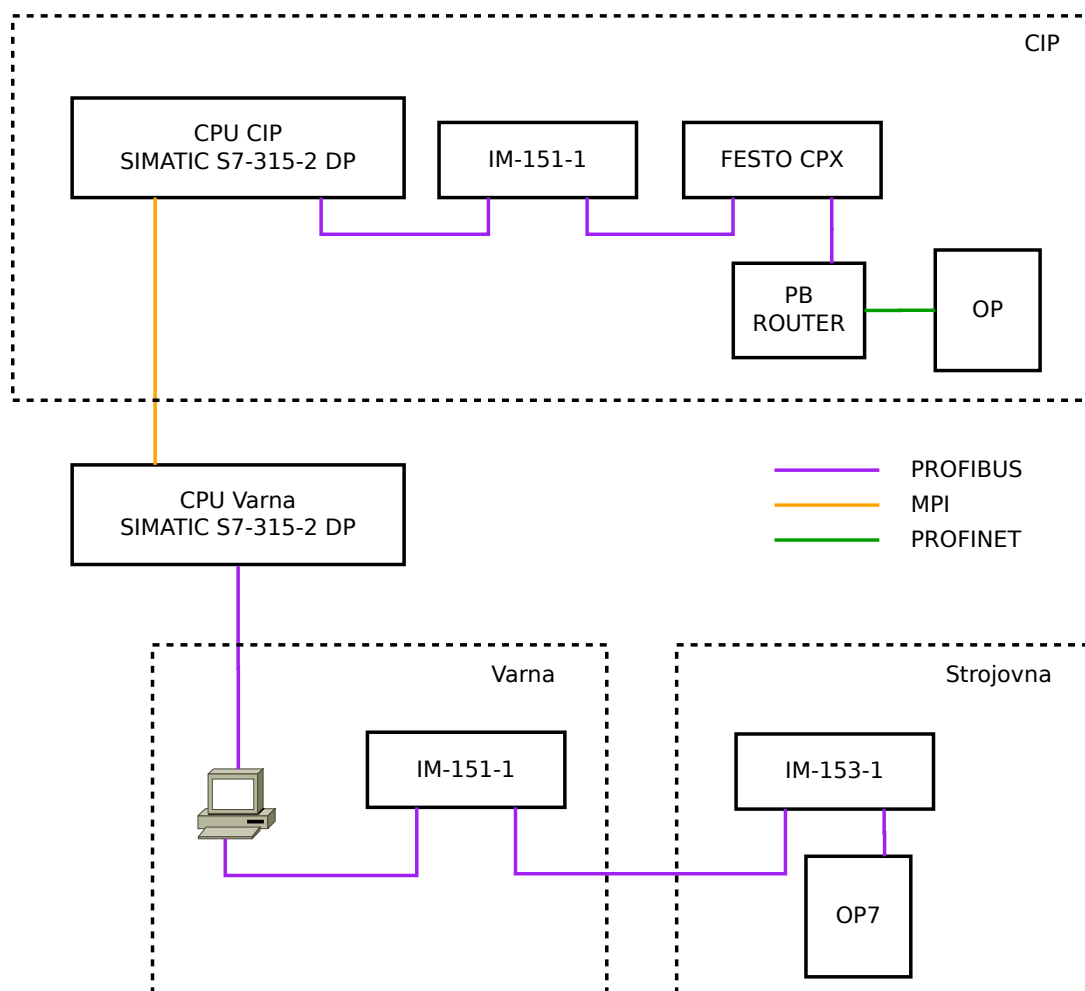
## 3. Návrh řešení

Vzhledem k finanční strategii zákazníka byla modernizace rozdělena do dvou fází. První fáze byla realizována a je zahrnuta v této práci. Druhá fáze bude realizována v blízké budoucnosti, zde je navrhnout pouze koncept. Detaily jednotlivých fází jsou podrobněji rozepsány v následujících sekcích včetně původního stavu.

### 3.1. Původní stav

Celý řídicí systém je založen na dvou automatech S7-315-2 DP firmy SIEMENS. Jeden automat slouží pro řízení CIP studených provozů a je ovládán z lokálního operačního panelu (OP). Tento automat komunikuje s automatem varny po sběrnici MPI (Multi point interface), kde dává povely pro zpětné čerpadlo a otevření trasy pro CIP.

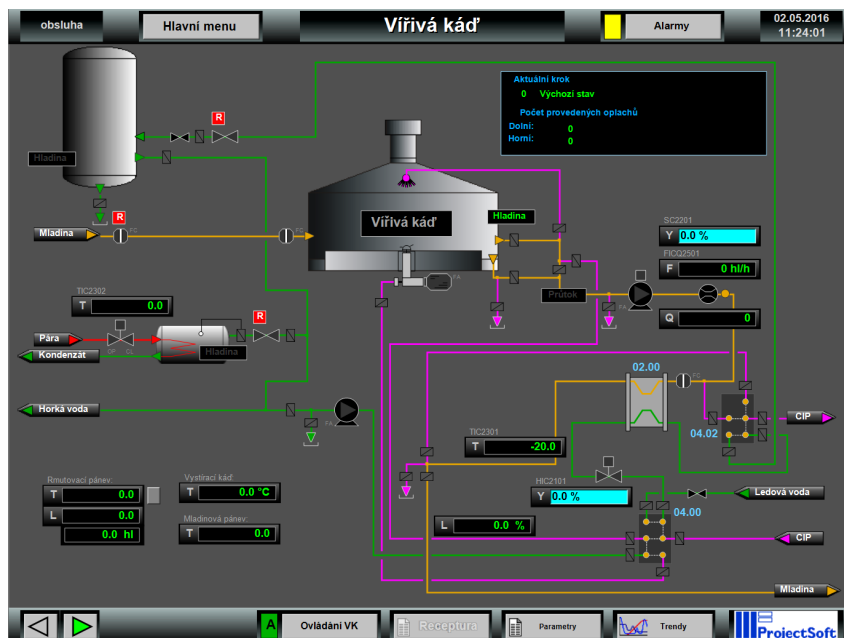
Automat varny řídí chlazení vody na strojovně, zpracovává měřené hodnoty na varně a řídí vířivou káď včetně spílání. Diagram původního zapojení je znázorněn na obr. 3.1.



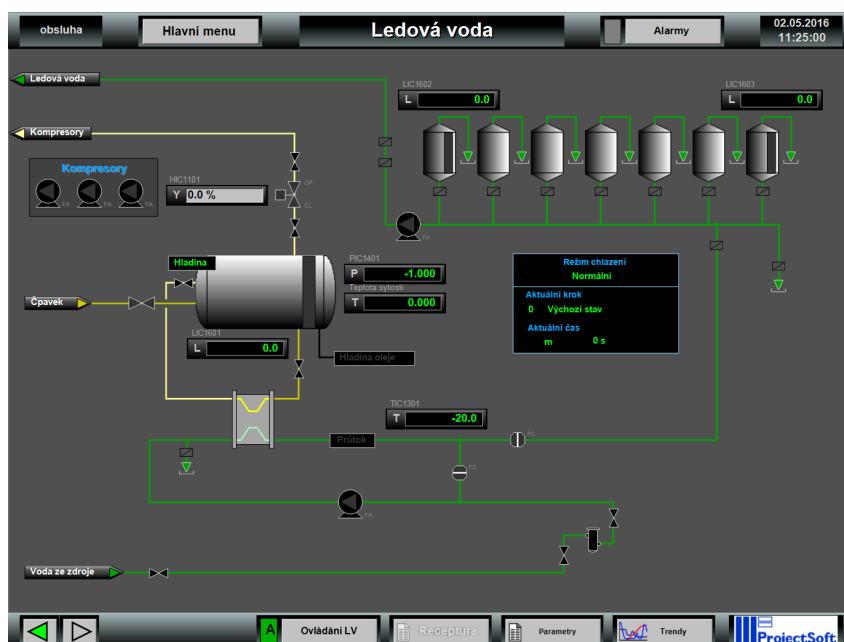
Obrázek 3.1: Původní schéma sítě.



Počítač pro ovládání technologie je vybaven komunikační kartou pro sběrnici PRO-FIBUS. Původní vizualizace je na obr. 3.2 a 3.3. Na varně je vše řízeno ručně pomocí různých pák a ventilů. Scezování včetně podrážení se řídí také ručně pomocí scezovacích kohoutů. Trasa přečerpávání se ovládá pomocí jedné velké páky u rmutovací pánve (RP).



Obrázek 3.2: Původní vizualizace pro varnu.

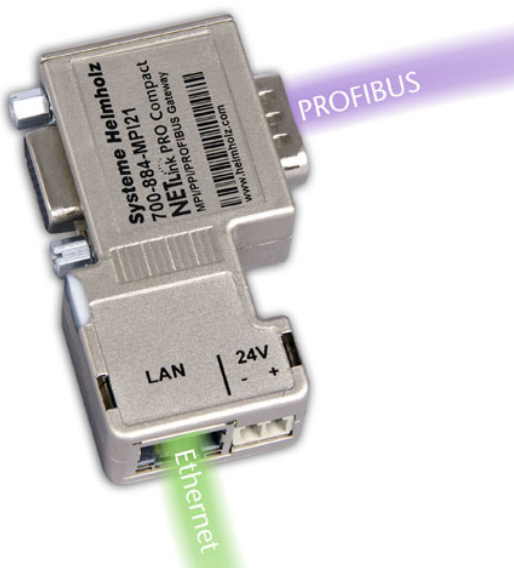


Obrázek 3.3: Původní vizualizace pro výrobu ledové vody.

## 3.2. První fáze

První fáze zahrnuje automatizaci scezovací kádě, vzdálené ovládání rmutovystírací soupravy a modernizaci řídicího počítače včetně SCADA systému. Zároveň vznikl požadavek na zavedení vzdálené správy.

Nejen proto byl instalován převodník PN/DP na PLC varny. Jedná se o převodník Hlemholz NETLink® PRO Compact, který se dokáže napájet přímo z PLC (programmable logic controller) a krom PROFIBUSu umí také pracovat na PPI (Point to Point Interface) a MPI sběrnici. Konfigurace probíhá pomocí webového rozhraní, nebo přímo přes SIMATIC manager.



Obrázek 3.4: Ukázka převodníku PN/DP (Helmholtz NETLink® PRO Compact) [9].

Tento převodník byl instalován na rozhraní MPI, čímž umožňuje vzdálené připojení jak na PLC varny, tak na PLC CIP stanice. Dále není třeba žádné další komunikační periferie pro ovládací PC na velínu.

Přibyly zde dále 4 další periferie na stávající sběrnici PROFIBUS. IM modul a ventilový terminál od firmy FESTO pro rmutovystírací a scezovací soupravu. Soupis prvků a signálů, které řídí, jsou sepsány v tabulkách 3.1 a 3.2 včetně výčtu signálů zavedených do řídicího systému.

Nové upravené schéma sítě je znázorněno na obr. 3.5. Jsou zde znázorněny nové periferie a umístění převodníku PN/DP. Dále je zde znázorněno jak je nově připojen PC na velínu, který je stejně jako PLC připojený do firemní sítě ETHERNET a přístupný pro vzdálenou správu.

Návrh scezovací sekvence je znázorněn na obr. 3.6. Tento návrh byl koncipován podle kap. 2.2.2.2. Je zde patrné, že se žádná operace neopakuje, proto jsou zde pohony řízeny přímo od kroku sekvence. Receptura obsahuje parametry, které tvarují scezovací





Obrázek 3.6: Zjednodušený sekvencer scezování.

Tabulka 3.1: Výčet nových prvků na rmutovystírací soupravě a jejich signálů.

| Označení MaR   | Popis prvku                             | AI | RTD | AO | DI | DO | SOL |
|----------------|---|----|-----|----|----|----|-----|
| HC 2013        | Pneumatická klapka + indukční snímač    |    |     |    | 1  |    | 1   |
| HC 2014        | Pneumatická klapka + indukční snímač    |    |     |    | 1  |    | 1   |
| HC 2015        | Pneumatická klapka + indukční snímač    |    |     |    | 1  |    | 1   |
| HC 2016        | Pneumatická klapka + indukční snímač    |    |     |    | 1  |    | 1   |
| HC 2017        | Pneumatická klapka + indukční snímač    |    |     |    | 1  |    | 1   |
| HC 2018        | Elektromagnetický ventil 2/2 cestný, NC |    |     |    |    |    | 1   |
| HC 2019        | Pneumatická klapka + indukční snímač    |    |     |    | 1  |    | 1   |
| HC 2020        | Pneumatická klapka + indukční snímač    |    |     |    | 1  |    | 1   |
| HC 2021        | Pneumatická klapka + indukční snímač    |    |     |    | 1  |    | 1   |
| HC 2022        | Pneumatická klapka + indukční snímač    |    |     |    | 1  |    | 1   |
| M 2011         | Motor                                   |    |     |    | 1  | 1  |     |
| M 2012         | Motor + FM                              |    |     | 1  | 1  | 1  |     |
| M 2013         | Motor                                   |    |     |    | 1  | 1  |     |
| LSL 2606       | Vibrační vidličky LIQUIPHANT FTL31      |    |     |    | 1  |    |     |
| Součet signálů |   | 0  | 0   | 1  | 13 | 3  | 10  |

Tabulka 3.2: Výčet nových prvků na scezovací soupravě a jejich signálů.

| Označení MaR   | Popis prvku                  | AI | RTD | AO | DI | DO | SOL |
|----------------|------------------------------|----|-----|----|----|----|-----|
| HC 2004        | Pneumatická klapka           |    |     |    |    |    | 1   |
| HC 2005        | Pneumatická klapka           |    |     |    |    |    | 1   |
| HC 2006        | Pneumatická klapka           |    |     |    |    |    | 1   |
| HC 2007        | Pneumatická klapka           |    |     |    |    |    | 1   |
| HC 2008        | Pneumatická klapka           |    |     |    |    |    | 1   |
| HC 2009        | Solenoidový ventil, 12Vdc    |    |     |    |    | 1  |     |
| HC 2010        | Cívka 230Vac                 |    |     |    |    | 1  |     |
| HC 2011        | Cívka 230Vac                 |    |     |    |    | 1  |     |
| HC 2012        | Cívka 230Vac                 |    |     |    |    | 1  |     |
| HIC 2105       | Regulační ventil             |    |     | 1  |    |    |     |
| M 2204         | Čerpadlo na horkou vodu      |    |     |    | 1  | 1  |     |
| M 2205         | AUMA NORM typ SA 14.2        |    |     |    | 3  | 2  |     |
| M 2206         | Vřetenové čerpadlo na mláto  |    |     |    | 1  | 1  |     |
| M 2207         | Pohon prořez + FM            |    |     | 1  | 1  | 1  |     |
| M 2208         | Pohon kypřidla               |    |     |    | 1  | 1  |     |
| M 2209         | Olejový agregát              |    |     |    | 1  | 1  |     |
| M 2210         | Scezovací čerpadlo + FM      |    |     | 1  | 1  | 1  |     |
| TIC 2303       | PT100                        | 1  |     |    |    |    |     |
| PdIC 2401      | PFT-FRBX25SF1OHCALSSZ        | 1  |     |    |    |    |     |
| FICQ 2502      | Průtokoměr                   | 1  |     |    | 1  |    |     |
| FICQ 2503      | Průtokoměr                   | 1  |     |    | 1  |    |     |
| LSL 2604       | Liquiphant - FTL 260         |    |     |    | 1  |    |     |
| LSL 2605       | Liquiphant - FTL 20          |    |     |    | 1  |    |     |
| QIC 2701       | Zákaloměr                    | 1  |     |    |    |    |     |
| GIC 2801       | Ultrazvukový snímač polohy   | 1  |     |    |    |    |     |
| S 201          | Osvětlení scezovacího panelu |    |     |    |    | 1  |     |
| Součet signálů |                              | 6  | 0   | 3  | 13 | 13 | 5   |

### 3.3. Druhá fáze

Druhá fáze spočívá v doplnění varny scezovací o průtokoměr a regulační ventily na páru. To umožní plně automatizované rmutování a hlídání teploty při chmelovaru.

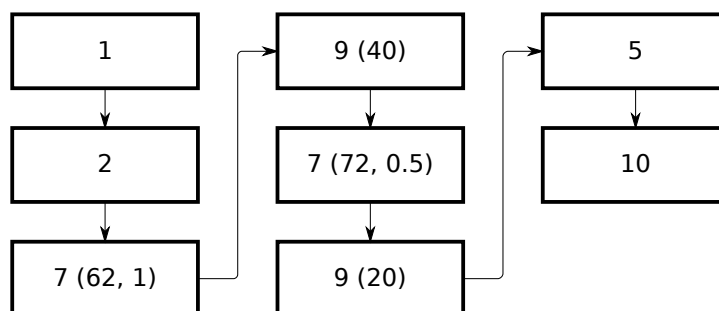
Oproti scezování, které je z hlediska postupu nezávislé na druhu vařeného piva, je rmutování velmi dynamické. Postupy popsané v kap. 2.2.2.1 se můžou lišit v jednotlivých krajinách podle místních zvyklostí. Proto je zde nezbytné definovat jednotlivé operace a

teprve pak z nich vytvořit recepturu. Chování jednotlivých prvků jsou pak udávány probíhající operací a nikoliv krokem sekvence. To umožní maximální flexibilitu pro obsluhu a výrazně zjednodušuje případné modifikace.

Pro proces rmutování si musíme připravit následující operace:

1. Vystření (smíchání sladu s vodou).
2. Zapárka (napuštění horké vody).
3. Čerpání z VP do RP.
4. Čerpání z RP do VP.
5. Čerpání z VP do SK.
6. Čerpání z VP do VP (specialita modernizovaného pivovaru).
7. Gradientní ohřev VP (parametr: konečná teplota [°C] a gradient [°C/min.]).
8. Gradientní ohřev RP (parametr: konečná teplota [°C] a gradient [°C/min.]).
9. Udržování teploty (parametr: doba prodlevy <sup>1</sup> [min.]).
10. Oplachy na kanál.

Pomocí těchto operací může vypadat např. receptura pro infuzi následovně:



Obrázek 3.7: Receptura rmutování metodou infuze pomocí předdefinovaných operací.

<sup>1</sup>Tato operace je většinou zakončena výzvou pro zásah obsluhy. To znamená, že musí obsluha provést zkoušku zcukření a potvrdit přechod do dalšího kroku. Tento postup je stále preferován před plnou automatizací u většiny sládků. [4]

## 4. Návrh a realizace řídicího systému

Z hlediska typu řízení můžeme výroby rozdělit na 3 základní typy: [13]

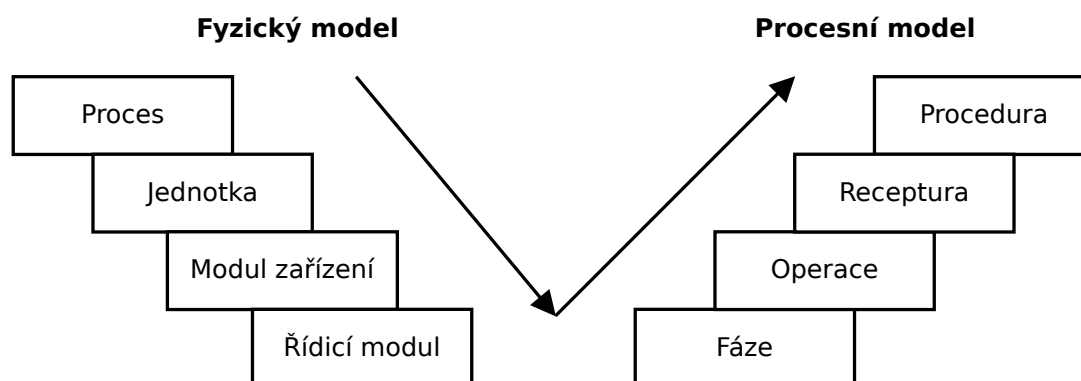
- Kontinuální (Spojité) výroby
- Diskrétní (Nespojité) výroby
- Dávkové (Šaržové, vsádkové) výroby

Kontinuální výroby se vyznačují nepřetržitým procesem, kde se produkuje stejný produkt. Typickým příkladem je cukrovar, který začíná svou produkci když dozraje řepa a produkuje se cukr nepřetržitě po dobu tří měsíců a déle. Po zbytek roku se pak připravuje na další kampaň. Z hlediska řízení se zde hlídá převážně ustálený stav provozu.

Nespojité výrobní procesy se vyznačují výrobou konkrétních výrobků, ať již unikátních, nebo sérií stejných výrobků. Příkladem výrobního podniku může být automobilka, ale také výrobci dílů pro automobily nebo dřevozpracující průmysl, např. výrobce nábytku.

Šaržové (používá se i označení dávkové, dříve také vsádkové) výrobní procesy jsou procesy, které vedou k výrobě konečných množství (šarží) materiálů tak, že vstupní materiály (sledují se jejich šarže) jsou zpracovány stanoveným postupem (předpisem) výrobních kroků při použití jednoho nebo více výrobních zařízení. Tyto procesy je možno řídit pomocí specializovaných modulů výrobních informačních systémů, které se jednotně nazývají batch systémy. Batch systém se definuje jako: „Proces vedoucí k výrobě konečných množství produktu tím, že množství vstupních materiálů jsou stanoveným způsobem a v průběhu časově omezené doby vystavena souboru činností zpracování s použitím jednoho nebo více zařízení.“ K typickým představitelům šaržových výrob patří farmaceutická výroba nebo potravinářství či výroba nápojů. [13]

Problematika dávkových výrobních procesů je popsána normou ISA S88. Hlavní princip této normy je rozdělení technologie na objekty a vytvořit nad nimi abstrakci. Z fyzického modelu se tak vhodně vytvoří procesní model, který je znázorněn na obr. 4.1.



Obrázek 4.1: Kroky metodologie podle S88.01. [3]

V S88 se definuje řídicí modul jako nejzákladnější element fyzické vrstvy. Může se jednat o klapku, čerpadlo nebo jiný základní prvek. Očekáváme, že můžeme dát příkaz (otevřít, start, stop atd.) a získat informaci o stavu (zavřeno, běží s výkonem 50%, poruchový stav).

Modul zařízení se zde definuje jako funkční skupina zařízení, které mohou vykonat konečný počet specifických podružných procesních aktivit. [3]

**Fáze** představuje základní výrobní krok, který je řízen procedurou na nejnižší úrovni. **Operace** je prvek procedury, který popisuje nezávislou činnost zpracování a obsahuje nezbytný algoritmus pro zahájení, organizaci a řízení fází. **Receptura** představuje předpis, který zahrnuje vstupy procesu, parametry procesu a výstupy procesu. **Procedura** představuje strategii pro provedení procesu. [13]

## 4.1. Řídicí algoritmus

Celý proces vaření mladiny spočívá na obsluze, která hlídá a řídí jednotlivé postupy. Varna je stále jen částečně automatizovaná, protože zde stále přebývá moc ručně ovládaných prvků (ruční parní ventily atd.). Proto se zde jedná o poloautomatický proces, kdy část výroby řídí automat, část výroby je řízena čistě manuálně a část automatických funkcí musí vykonat obsluha, které musí následně potvrdit (chybí trasa nebo byla instalována ruční klapka místo pneumatické).

### 4.1.1. Rmutovystírací souprava

Rmutovystírací souprava obsahuje funkce pro otevírání jednotlivých tras (velká tlačítka na obr. 4.11). Tyto tlačítka nahrazují původní mechanickou páku.

Je zde blokáce čerpadla od sondy zaplavení. Klapky, oproti těm na scezovací soupravě, jsou vybaveny indukčními snímači, které posílají signál, když je klapka zavřena. To nám umožňuje vyhodnocovat poruchové stavy a máme jistotu, že nám nepotečou rmuty na kanál.

Další rozšíření automatizace bude probíhat v druhé fázi viz. kap. 3.3.

### 4.1.2. Scezovací souprava

Inicializace procesu scezování provádí obsluha z ovládacího panelu SK (obr. 4.13). Pomocí tohoto panelu dostává obsluha informace o stavu sekvenceru, může zde volit předdefinovanou recepturu a případně má zde možnost ovládat samotný sekvencer. Ten je popsán podrobně v tab. 4.1. V poznámkách této tabulky je uvedeno kdy musí obsluha provést zásah.



Receptura automatického scezování obsahuje základní údaje o objemech scezeného množství sladiny a výstřelkové vody, parametry základních řídících křivek podtlaku, průtoku a polohy kypřidla a limitní hodnoty čírosti sladiny. Automatický cyklus zajišťuje přečerpání díla do scezovací kádě, formování filtrační vrstvy čerpáním kalného podílu sladiny zpět, scezování předku a scezování výstřelků. Proces reguluje několik speciálních regulátorů. Regulátor průtoku optimalizuje např. průtok scezované sladiny v závislosti na podtlaku ve scezovacím věnci a na receptem dané křivce maximálního průtoku. Regulátor polohy kypřidla udržuje v závislosti na podtlaku ve věnci optimální výšku kypřidla ve vrstvě mláta a mění rychlost otáčení. Proces napouštění vyslazovací vody může být buď kontinuální nebo semikontinuální, daný objemem jednotlivých výstřelků dle receptu. Výhoz mláta je řízen samostatným programem. Automat zajistí postupné klesání kypřicího stroje až ke scezovacímu dnu a současně ovládání cesty dopravy mláta. Po ukončení výhozu mláta je prostor pod sítí vyčištěn formou cyklických výstřiků. Průtoky a objemy sladiny a výstřelkové vody se měří průtokoměry, podtlak ve scezovacím systému tlakovým čidlem, čírost mladiny zákaloměrem a rychlost průtoku sladiny je regulována frekvenčním měničem scezovacího čerpadla. [6]

Tabulka 4.1: Sekvence a přechodové podmínky scezovací kádě.

| Krok sekvence                    | Přechod do dalšího kroku   | Poznámka                          |
|----------------------------------|--|-----------------------------------|
| 0. Výchozí stav                  | tlačítko START   |                                   |
| 1. Start programu                | tlačítko Potvrď  | Kontrola SK                       |
| 2. Voda pod sítá                 | množství vody $\geq$ rec. 1  |                                   |
| 3. Kopačka poloha zaháknutí      | výška kopačky $\leq$ par. 33 – par. 35<br>výška kopačky $\geq$ par. 33 + par. 36 |                                   |
| 4. Kopačka zaháknutí             | T-akt $> 5s$   | Pouze čekání                      |
| 6. Kopačka poloha podrážení      | výška kopačky $\leq$ rec. 02 – par. 35<br>výška kopačky $\geq$ rec. 02 + par. 36 |                                   |
| 7. Kontrola kopačky              | tlačítko Potvrď  | Obsluha<br>zkontroluje<br>kopačku |
| 9. Čerpání na SK                 | tlačítko Potvrď  | Ruční čerpání<br>na SK            |
| 12. Zavření napouštěcích ventilů | tlačítko Potvrď  | Čerpání bylo<br>dokončeno         |
| 13. Odpočinek na SK              | T-akt $>$ rec. 05  |                                   |
| 14. Podrážení 1                  | T-akt $>$ par.02 dP $>$ rec. 07  | Nulování<br>průtokoměrů           |
| 15. Podrážení 1 prodleva         | T-akt $>$ rec.08   |                                   |
| 16. Podrážení 2                  | T-akt $>$ par.03 nebo zákal $<$ rec. 09  |                                   |

|                             |  |   |
|-----------------------------|--|---|
| 17. Podrážení 2 prodleva    | T-akt > rec.11 a tlačítko Potvrď   |   |
| 18. Scezování předku 1      | Rec.65 + rec.66 < objem mladiny  | Nulování<br>průtokoměrů                   |
| 19. Scezování předku 2      | Rec.67 < objem mladiny   |   |
| 20. Scezování předku 3      | Rec.68 < objem mladiny   |   |
| 21. Scezování předku 4      | Rec.69 < objem mladiny   |   |
| 22. Scezování předku 5      | Rec.70 < objem mladiny   |   |
| 23. Napouštění výstřelků    | Rec.35 < objem mladiny   | Krok zůstává<br>pokud je<br>nucené kopání |
| 24. Scezování výstřelků 1   | Rec.71 < objem mladiny   |   |
| 25. Scezování výstřelků 2   | Rec.72 < objem mladiny   |   |
| 26. Scezování výstřelků 3   | Rec.73 < objem mladiny   |   |
| 27. Scezování výstřelků 4   | Rec.74 < objem mladiny   |   |
| 28. Scezování výstřelků 5   | Rec.75 < objem mladiny   |   |
| 29. Uzavření ručních klapek | tlačítko Potvrď  |   |
| 30. Vypuštění vody          | tlačítko Potvrď  | Obsluha<br>otevře klapku<br>na kanál      |
| 33. Kopačka vyháknutí       | výška kopačky $\leq$ par.34 – par. 35<br>výška kopačky $\geq$ par.34 + par. 36     |   |
| 34. Kopačka poloha výhoz    | výška kopačky $\leq$ rec. 100 – par. 35<br>výška kopačky $\geq$ rec. 100 + par. 36 |   |
| 35. Kontrola kopačky        | tlačítko Potvrď  | Obsluha<br>zkontroluje<br>kopačku         |
| 36. Otevření výhozu         | Signál výhoz otevřen   |   |
| 37. Výhoz kopačkou 1        | T-akt > par.41 2/3 rec.100 > výška<br>kopačky 1/3 rec.100 > výška<br>kopačky       |   |
| 39. Výhoz kopačkou 3        | T-akt > par.43 Rec. 47 > výška<br>kopačky  |   |
| 40. Čištění síta            | T-akt > par.48   |   |
| 41. Oplach SK               | T-akt > par.49   |   |
| 42. Kontrola síta           | tlačítko Potvrď  | Obsluha<br>opláchne víko<br>výhozu        |
| 43. Zavření výhozu          | Signál výhoz zavřen  |   |

|                         |                 |  |
|-------------------------|-----------------|--|
| 44. Oplach pod síta 1   | T-akt > 10s     |  |
| 45. Oplach pod síta 2   | T-akt > 5s      | Zavření páry                                   |
| 49. Prodleva po oplachu | T-akt > 60s     | Podle počtů zvolených oplachů skok do kroku 44 |
| 64. Konec SK            | tlačítko Potvrd |  |

Z tabulky 4.1 byly vynechány rezervy, které slouží pro případné modifikace či rozšíření. Jednotlivé parametry a parametry receptur jsou znázorněny na obrazovkách 4.14, 4.15 a 4.16.

Pokud se rmutování nachází již ve finální fázi, je možné spustit sekvenci scezování. Obsluha zmáčkne tlačítko START a následně tlačítko POTVRD. To je zde proto, aby se ujistila, že scezovací kád' je připravena pro čerpání rmutů, a že žádný ruční ventil na kanál není otevřen.

Po potvrzení se napustí voda pod síta. Tato voda je dohřívána stejně jako výstřelková voda na výměníku, který je regulován ventilem HIC 2105. Objem napuštěné vody se měří pomocí průtokoměru FICQ 2502, který vysílá puls délky 100 ms za každý napuštěný hl.

Po napuštění teplé vody pod síta vyjede kopačka na polohu zaháknutí, počká 5 s, a sjede na polohu pro podrážení. V tuto chvíli je nezbytné, aby obsluha zkontrolovala, že je kopačka opravdu správně zaháknutá. Pokud by zaháknutí bylo jen částečné, hrozilo by poškození technologie.

Obsluha nyní může spustit čerpání rmutů do scezovací kádě. V budoucnu bude rmutovací čerpadlo řízeno operací „čerpát do SK“, která se vykoná pouze pokud bude sekvencer SK v kroku 9. Po načerpání rmutů se čeká na obsluhu, až potvrdí dokončení operace, a že jsou všechny ventily uzavřeny.

Následuje prodleva, při které se čeká, než „sedne“ mláto a začne vytvářet filtrační vrstvu. Po prodlevě začíná podrážení, při kterém se čeká na pokles diferenciálního tlaku. Nastává další prodleva, na kterou navazuje druhé podrážení, při kterém se čeká, než klesne zákal pod mezní hodnotu. Po dosažení mezního zákalu je na obsluze, aby zkontrolovala stav mladiny (čírost, množství nečistot) a pokud je vše v pořádku, potvrdila přechod do dalšího kroku.

Nyní se automaticky nuluje průtokoměr a začíná se scezovat do mladinové pánve. Scezování předku je rozděleno do několika kroků tak, aby bylo možno dobře tvarovat scezovací křivku. Ta jednoduše udává rychlost scezování po určitém scezeném objemu. Jednotlivé, takto definované, body jsou spojeny přímkou a je tak zajištěna plynulost změny průtoků.

Po scezení předdefinovaného objemu předku se začne dopouštět výstřelková voda. V tomto kroku je přerušeno scezování a čeká se, než se dopustí objem výstřelkové vody dle receptury. Tento krok využívá obsluha často k částečnému narušení mláta, pokud se moc zatáhlo během scezování předku.

Po dopuštění výstřelkové vody se znovu automaticky spouští scezování. Nyní se výstřelková voda dopouští cyklicky podle scezeného objemu výstřelků. Sládek má možnost nastavit recepturu tak, aby se scezovalo kontinuálně, nebo na jistý počet výstřelků. Tento cyklus se nastavuje v receptuře parametry 35 až 41.

Ke konci scezování má obsluha možnost upravit objem díla pohromadě (rec. 75). Může sedit více či méně, aby dosáhla žádané cukernatosti posledních výstřelků. Pohon prořezu (M 2207) je aktivní celý čas od scezování předku až do scezení poledního výstřelku. Jeho otáčky jsou regulovány pomocí frekvenčního měniče tak, aby se jeho rychlost postupně s klesající výškou zpomalovala.

Po dosažení finálního objemu je scezování dokončeno a obsluha je vyzvána, aby uzavřela případné ruční klapky pro scezování a otevřela klapku na kanál. Splašky zde ne sbíráme a mláto potřebujeme pokud možno suché. Když jsou splašky vypuštěné, obsluha opět potvrdí přechod do dalšího kroku. Nyní kopačka vyjede do polohy vyháknutí<sup>1</sup> a sjede na polohu výhozu mláta (rec. 100). Zde musí opět obsluha zkontrolovat stav kopačky, jestli proběhlo vyháknutí v pořádku. Jinak opět hrozí poškození technologie. V případě neúspěchu může obsluha změnit krok sekvence zpět na nájezd kopačky na polohu vyháknutí.

Pokud proběhlo vše jak mělo, může obsluha potvrdit přechod do dalšího kroku. Nyní se otevře víko výhozu a čeká se na signál otevřeno od koncové polohy. Následuje start pohonu výhozu (M 2208). Tento pohon již není regulován, točí však s kopačkou znatelně rychleji. Reguluje se zde pouze úroveň klesání. To se děje ve třech krocích vždy, kdy v každém kroku sjede kopačka o jednu třetinu původní vzdálenosti od síta níže. V receptuře se nastavují časy, jak dlouho má který krok trvat. Zpravidla je první pokles relativně rychlý a zbylé dva pomalejší.

Po vyhození mláta se kopačka stále točí a jsou spuštěny oplachy SK. Nejprve pomocí hlavic, následně je voda puštěna pod síta. Tímto způsobem se vyplaví zbytky mláta ze stěn s síta. Obsluha je následně vyzvána, aby opláchla víko výhozu. Tento krok může využít, aby odstranila případné jiné zbytky mláta ze síta. Tato SK je vybavena pouze jednou sadou sprchových hlavic, proto nejsou automatické oplachy tak účinné a je nezbytný manuální zásah obsluhy.

Když obsluha vše splní, potvrdí přechod do dalšího kroku, ve kterém se zavře víko výhozu. AUMA má 3 zpětné signály o stavech. První dva jsou koncové polohy otevřeno a zavřeno. Poslední signál udává dosažení maximálního momentu při zavření. Standardně je to poruchový stav, zde je však nutné zavírat víko na tento signál, abychom měli jistotu,

---

<sup>1</sup>Poloha vyháknutí je výše, než poloha zaháknutí.

že nám nebude utíkat mladina do zásobníku mláta. Koncový signál zavřeno zde nemá praktický význam.

Po uzavření víka výhozu začíná cyklický oplach dna SK. Cyklus začíná 10 s napouštěním s regulací teploty, 5 s s uzavřeným ventilem páry, a 60 s prodlevou. Počet těchto cyklů udává parametr 39.

Po ukončení těchto cyklů opět může obsluha vše zkontrolovat, případně provést poslední zásah a naposledy potvrdit přechod dalšího kroku. Tímto se sekvence dostává do původního stavu (odstaveno).

Vedle hlavní sekvence je zde malá podružná sekvence, která řídí čerpání mláta ze zásobníku a je inicializována vždy při startu pohonu M 2216. Při čerpání mláta ze zásobníku je nezbytné hlídat minimum v zásobníku. O to se starají vibrační vidličky Liquiphant (sonda LSL 2604). Vzhledem k vlastnostem mláta je tyto vidličky třeba oplachovat, aby jsme smyli přilepené mláto a rozpoznali tak minimum v tanku. Nechceme však zbytečně zvedat vlhkost mláta, tak zde nejprve čerpáme předdefinovanou dobu bez oplachů, a následně se začne cyklicky otevírat ventil HC 2206. Tento cyklus je řízený pomocí parametrů 21 a 22.

### 4.1.3. Ošetření havarijních stavů

Nejkritičtější část návrhu řídicího softwaru je jednoznačně ošetření havarijních stavů. Tyto jsou v zadáních velmi často nedostatečně popsány nebo dokonce zcela chybí. Krom zamezení poškození částí technologie se musíme hlavně zabývat situacemi, při kterých by mohlo dojít k úrazům. V této části je uvedeno několik příkladů zavedení preventivních opatření, aby k takovému případu nedošlo.

Každé čerpadlo je hlídáno sondou zaplavení, která je umístěna vhodně <sup>2</sup> na přívodní trubku před čerpadlo. Signál z každé takové sondy je časově filtrován, aby se odstranily zákmity (musí trvat přednastavenou dobu). Např. čerpadlo M 2210 je hlídáno sondou LSL 2605. Při případné poruše takové sondy lze čerpadlo spouštět pouze z deblokační skříně.

Naopak na deblokační skříně lze zablokovat jakýkoliv pohon (čerpadlo, motor), aby nešel automaticky pustit. Pohon prořezu a výhozu či míchadel dokonce na klíč. To je nezbytné, aby nedošlo k úrazu či vážnějšímu zranění. Pokud obsluha nebo kdokoliv jiný vlez do nádoby, musí mít s sebou právě tento klíč, aby měl jistotu, že mu nic nehrozí.

Dalších několik bloků se týká tepelného výměníku. Nelze otevřít parní ventil, pokud neběží čerpadlo M 2204 nebo je moc nízký průtok. Hrozilo by přehřátí výměníku. Pokud k tomu přeci jen došlo, nastávají dva různé scénáře. Když je sekvence v chodu, tak se zavře parní ventil, a čerpá se voda výměníkem do hlavic SK, dokud neklesne teplota. Vzhledem

---

<sup>2</sup>Sonda zaplavení by měla být dostatečně daleko před čerpadlem, aby jsme měli časovou rezervu pro vypnutí a měla by být přidělena tak, aby se nezachytila vzduchová bublina u sondy

k velkému objemu výluhu v SK nemá tato akce vliv na výsledný produkt. Pokud je však sekvence scezovací kádě odstavena, je zobrazen pouze alarm a je zajištěno, že parní ventil je uzavřen. Nelze totiž nijak bezpečně zajistit, aby při ochlazování tepelného výměníku nebyl nikdo uvnitř SK.

Pokud by náhodou během scezování došlo k výpadku napájení, dojde v prvním skenu automatu k zastavení sekvence v aktuálním kroku a k odstavení všech pohonů. Jakmile obsluha usoudí, že je vhodné znovu pokračovat v procesu, může tak v sekvenci dále pokračovat v místě přerušení.

Ve vizualizaci jsou blokové prvky zvýrazněny oranžovou barvou, případně doplněny výrazným červeným textem o jaký blokační stav se jedná.

## 4.2. Řídicí systém

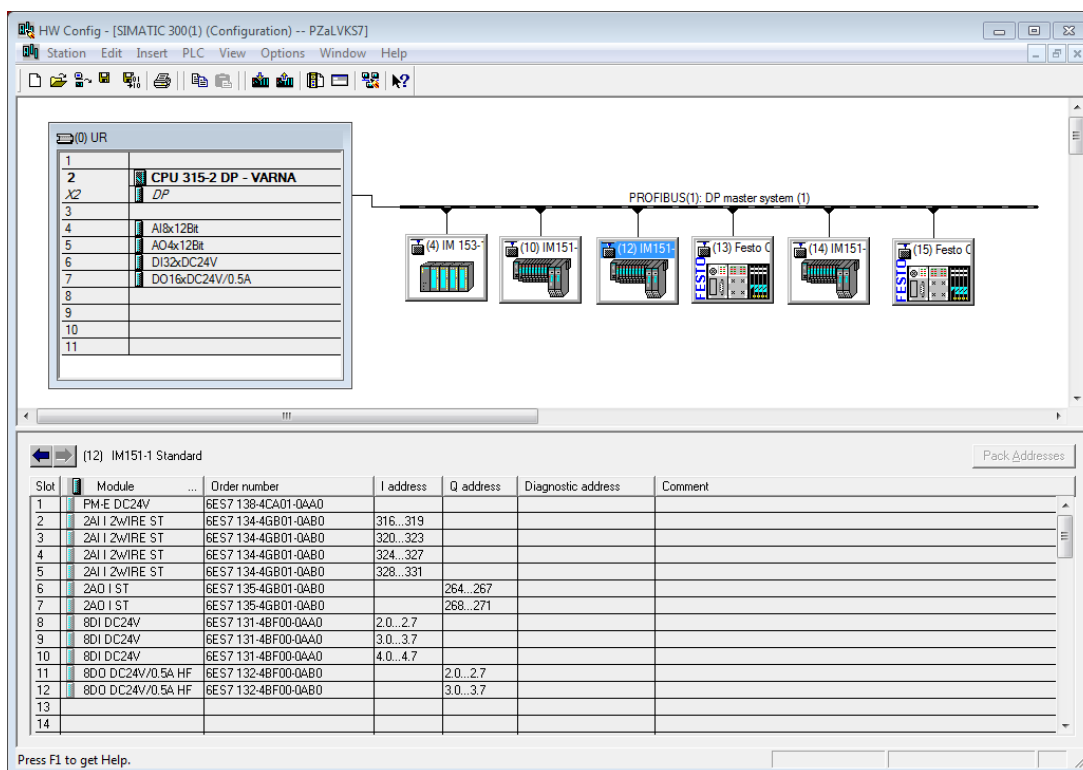
Hlavním jádrem řídicího systému je průmyslový automat (PLC), který původně vznikl, aby nahradil staré reléové systémy. Je přizpůsoben pro rozsáhlé zpracování digitálních i analogových signálů. Jedná se zároveň o systém reálného času. To znamená, že nám dává záruku, že určitá činnost bude ukončena v určitém časovém úseku.

PLC typu SIMATIC S7 má rozdělené datové oblasti na oblast vstupů (I), oblast výstupů (Q), bitová paměť (M), oblast časovačů (T) a čítačů (C). Velikost jednotlivých oblastí závisí na konkrétním modelu PLC. K oblastem I, Q a M lze přistupovat vzdáleně pomocí protokolu S7 nebo jeho variace S7TCP.

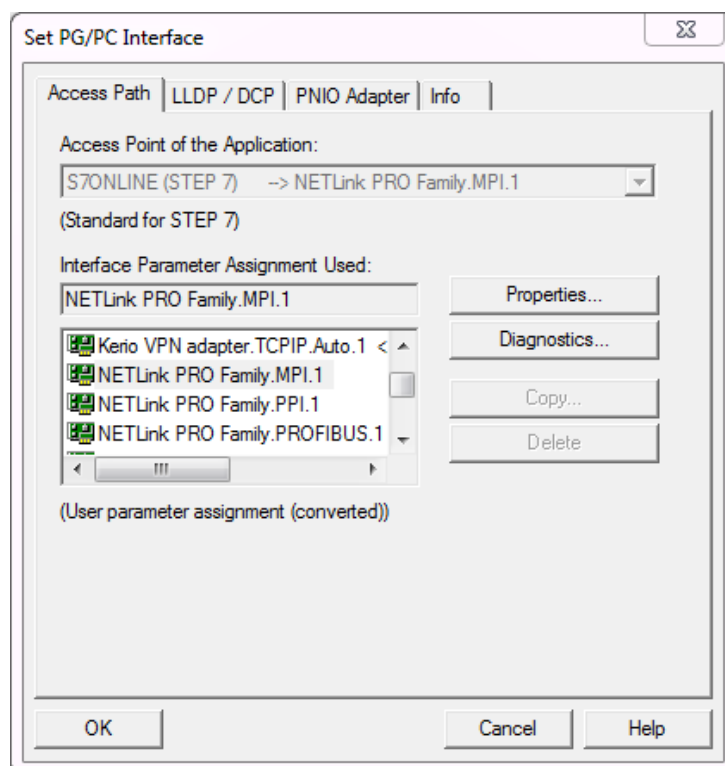
### 4.2.1. Popis hardwarové konfigurace

Hardwarová konfigurace byla upravena podle předlohy v projektu elektro a MaR (příloha č. 3). Přibyly 4 periferie, vždy IM modul a FESTO CPX terminál. Jedna dvojice pro scezovací káď a druhá pro rmutovystírací soupravu. Před připojením nových periférií je však třeba instalovat nové GSD (general station description) soubory pro FESTO CPX terminál. Jedná se o soubor definic a charakteristik zařízení. Tento soubor je nutno stáhnout ze stránek výrobce a instalovat ho do prostředí SIMATIC Manager. To se provede v okně HW Config, kde nejprve zavřeme otevřený projekt a v záložce *Options* vybereme položku *Instal GSD files*. Zobrazí se dialog, ve kterém vybere složku, kde se nachází náš GSD soubor, zvolíme ho v aktualizovaném seznamu a stiskneme tlačítko *Install*. Nyní můžeme přidat a připojit periferie na stávající PROFIBUSovou sběrnici.

Převodník PN/DP do hardwarové konfigurace není nutno přidávat. Je však nutné upravit připojení SIMATIC manageru s PLC. Nejprve je nutno nainstalovat ovladač od výrobce. Poté se vybere v nastavení set PG/PC interface náš převodník s patřičnou sběrnici, jak je znázorněno na obr. 4.3.



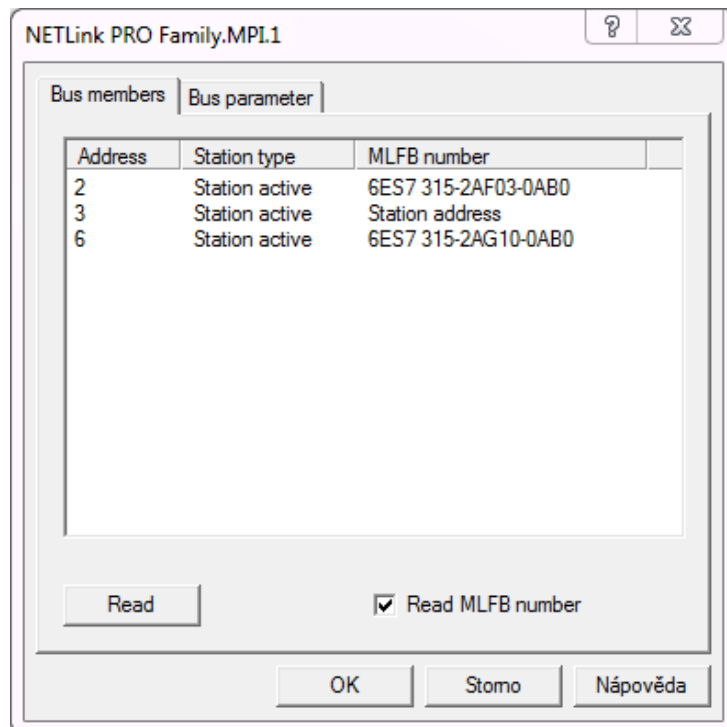
Obrázek 4.2: Ukázka hardwarové konfigurace.



Obrázek 4.3: Volba PG/PC interface.

V záložce *Properties* přidáme nové zařízení. Vyplníme položku *Name* vhodným pojmenováním. Dále vyplníme jeho adresu, nebo dáme hledat zařízení pomocí tlačítka

*Search NETLink PRO Family.* Po dokončení stiskneme tlačítko *Parametrize NETLink*. To zpřístupní parametry sběrnice (rychlost komunikace atd.) a nahraje je do našeho převodníku (to v tomto případě není nutné, protože využijeme autodetekce). Pro vzdálený přístup je třeba vytvořit nové zařízení, nelze zde vyplnit adresu automaticky, pouze ručně. Pokud nemáme přístupný přímo port 102 (výchozí pro S7 komunikaci), pak musíme zaškrtnout políčko *Internet teleservice* a vyplnit mapovaný port. Všechny parametry převodníku jsou jak již bylo zmíněno přístupné i přes webové rozhraní.

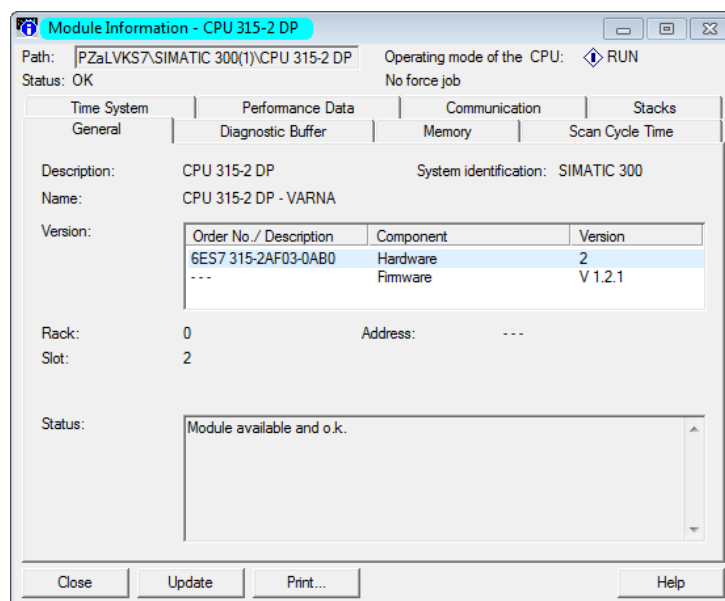


Obrázek 4.4: Diagnostika sběrnice MPI.

Po dokončení nastavení můžeme ověřit funkčnost komunikace pomocí tlačítka *Diagnostics* v dialogu set PG/PC interface. Tato akce vyvolá dialog 4.4, ve kterém po stisknutí tlačítka *Read* můžeme vidět všechna dostupná zařízení na naší sběrnici. V našem případě zde vidíme PLC varny (addr. 2), PLC CIP (addr. 4) a samotný převodník (addr. 3).

Samotné připojení k PLC ověříme volbou automatu v SIMATIC manageru stisknutím kombinace CTRL+D. Tato kombinace tlačítek vyvolá dialog 4.5. Zde krom funkčnosti aktivního spojení můžeme dále vyčíst velmi cenné diagnostické informace. Základním údajem je, jak je vidět zde na dialogu, že status a operační režim jsou OK. Dále musíme ověřit jméno automatu (nepřipojili jsme se omylem na cizí automat). Krom těchto informací zde dále nalezneme údaje o době trvání jednoho cyklu, stavu zaplnění jednotlivých pamětí a diagnostický buffer. Diagnostický buffer je zásobník několika posledních chybových či stavových událostí.





Obrázek 4.5: Dialog *module information*.

#### 4.2.2. Programové bloky

V produktech S7 se programové bloky dělí na organizační bloky (OB), funkce (FC), speciální funkce a speciální funkční bloky (SFC, SFB), funkční bloky (FB), a datové bloky, které mohou být globální (DB), nebo instanční (iDB).<sup>[12]</sup>

Samotné programování PLC se řídí podle normy IEC 61131 – 3, kterou se postupně snaží implementovat všichni výrobci průmyslových automatů. Tato norma definuje krom samotných programovacích jazyků (STL, SCL, LAD, FBD...) i datové typy a základní funkce.

Organizační bloky se volají cyklicky nebo na základě nějaké události. OB1 představuje hlavní cyklus automatu. Volá se s každým skenem automatu. Pomocí OB1 se volají hlavní řídicí funkce systému. Podle typu automatu můžeme mít několik dalších cyklicky volaných organizačních bloků, které se volají s předem nastavenou periodou. Tato perioda se dá konfigurovat pomocí HW konfigurace. Typickým příkladem je blok OB35, který se volá každých 100 ms. Bloky OB100 – 102 se provádějí při restartu automatu (HOT, WARM, COLD). Tyto bloky se mohou využít pro uvedení systému do bezpečného stavu např. po obnovení dodávky energie. Další bloky se volají pokud nastane chyba v programu (OB121) a pokud vypadne nějaké zařízení (OB122). Pokud nejsou tyto bloky nahrané v PLC, přejde PLC do režimu STOP, pokud např. nastane porucha na měřící kartě. V tomto momentu ztrácíme kontrolu nad celým systémem, a proto je nezbytné těmto stavům předcházet.

Funkce slouží pro vykonávání vlastního kódu. Mají vstupní i výstupní parametry jak to známe u jiných programovacích jazyků. Vstupní parametry se řadí podle typu na vstupní, výstupní a vstupně-výstupní. Dále se v definici funkce dá definovat dočasná proměnná a konstanta. Každá proměnná má dále pevně definovaný datový typ. Pokud vyžadujeme

variabilitu, můžeme použít datový typ ANY, ovšem v různých programovacích jazycích narazíme na různá omezení tohoto datového typu. Všechny tyto parametry se definují v definici samotné funkce.

Funkční bloky mají podobný účel jako funkce s tím rozdílem, že při každém volání funkčního bloku je připojen i instanční datový blok, který se generuje při zápisu volání. V definici FB je oproti FC navíc statický typ proměnné. Tento typ se využívá jako interní paměť. Všechny proměnné včetně parametrů, krom dočasných proměnných, pak nalezneme ve vygenerovaném iDB. Ke všem těmto datům pak máme externí přístup i ze SCADA systému. Tento blok se používá pro definici objektů.

Speciální funkce jsou součástí standardního vybavení PLC. Jedná se např. o funkce pro vyčítání systémových a diagnostických údajů, nebo pro komunikaci mezi automaty nebo jinými periferiemi.

Poslední skupinou jsou globální datové bloky. Jejich definice se provádí postupně pomocí jednotlivých proměnných, nebo pomocí uživatelsky definovaných typů (UDT). Ty se však do PLC řad S7-300/400 nepřenáší a ani jiná symbolika. Pro urychlení definic se používá export do zdrojového kódu, který lze velmi jednoduše upravovat i pomocí libovolného tabulkového procesoru. Zkrácený export datového bloku je znázorněn na ukázce 4.1, klíčové slova jsou zde vyznačena tučně. Po klíčovém slově STRUCT začíná definice struktury DB. Zápis je ve formátu: <jméno proměnné> : <datový typ> ; // <komentář> Po klíčovém slově BEGIN je možno definovat inicializační parametry jednotlivých proměnných. Tato definice má vyšší prioritu, než definice v UDT.

Ukázka kódu 4.1: Ukázka definice datového bloku.

---

```
DATA BLOCK "PIW-DWDW-PQW"
TITLE =
VERSION : 0.1

STRUCT
  HIC2101_AO : WORD ;
  LIC1602_03_PRUM : WORD ; //prumerna hodnota hladin lic1602 a lic1603
  LIC1603_POM : WORD ; //pomocna
  TIC_2303 : "Type_AI_REAL"; //Teplota horke vody
  ...
END STRUCT ;
BEGIN
  TIC_2303._MIN_EU := 0.000000e+000;
  TIC_2303._MAX_EU := 1.200000e+002;

END DATA BLOCK
```

---

Podobný postup lze nasadit i pro zjednodušení práce pro tvoření přepisů signálů z I/O na DB a naopak. Velké efektivity dosáhneme, pokud máme export z dobře připraveného projektu z EPLANu <sup>3</sup>.

Do stávajících datových bloků a funkcí pro přepisy byly zaneseny nové prvky z tabulek 3.1 a 3.2. Seznam nových datových bloků je vypsán v tab. 4.2. Datový blok regulátoru je rozdělen na blok s parametry a pomocnými proměnnými. Dále je zde několik bloků pro uchování receptur SK.

Tabulka 4.2: Nové přidáné datové bloky.

| Označení | Symbolický název | Popis   |
|----------|------------------|---|
| DB 53    | DB.REG.PID       | Pomocné hodnoty regulátoru (non-retain <sup>4</sup> ) |
| DB 54    | DB.REG.PID.PAR   | Parametry regulátoru                                  |
| DB 83    | DB.SK.AKT        | Aktuálně používaná receptura                          |
| DB 110   | DB.SK.EDIT       | Paměťový prostor pro editaci receptury                |
| DB 111   | DB.SK.REC1       | Archiv receptury                                      |
| DB 112   | DB.SK.REC2       | Archiv receptury                                      |
| DB 113   | DB.SK.REC3       | Archiv receptury                                      |
| DB 114   | DB.SK.REC4       | Archiv receptury                                      |
| DB 115   | DB.SK.REC5       | Archiv receptury                                      |
| DB 116   | DB.SK.REC6       | Archiv receptury                                      |

Tyto bloky fungují tak, že se při načtení receptury překopíruje zvolená receptura do DB83. Zde pak lze aktuální recepturu editovat. Pokud chceme editovat archivní recepturu musíme jí nejprve překopírovat do DB 110, kde ji upravíme podle potřeby a uložíme zpět do původního DB. Lze také načíst aktuálně používanou recepturu a uložit ji do libovolného archivního DB. Tyto operace se provádějí na obrazovce 4.17, která je volaná ze servisní obrazovky.

## 4.3. Vizualizace

### 4.3.1. TomPack

Systém TomPack je souborem programů pro vizualizaci technologických procesů typu SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). Je určen jak pro malé systémy s jedním počítačem, tak pro rozsáhlé systémy mnoha počítačů propojených sítí včetně Internetu. Umožňuje redundanci jednotlivých částí, tj. při výpadku jednoho PC lze technologii řídit pomocí záložního počítače. Architektura TomPacku je typu klient/server,

<sup>3</sup>EPLAN Electric je nástroj pro projektování, vytváření dokumentace a řízení projektů elektrotechnické automatizace.

<sup>4</sup>Po restartu PLC se datový blok znovu inicializuje (ztratí aktuální hodnoty).

Tabulka 4.3: Nové přidané funkce.

| Označení | Symbolický název   | Popis   |
|----------|--------------------|---|
| FC 35    | REG_PID_REAL       | Implementace $\beta$ -PSD regulátoru            |
| FC 40    | AVERAGE            | Výpočet průměrné hodnoty                        |
| FC 90    | RVP_MAIN           | Blok pro obsluhu RVP                            |
| FC 100   | SK_HLAVNI          | Hlavní volání technologie SK                    |
| FC 101   | _SK_KROKY          | Definice sekvenceru a přechodových podmínek     |
| FC 102   | _SK_CM_KROKY       | Jednoduchá sekvence čerpání mláta               |
| FC 105   | _SK_REC            | Funkce pro práci s recepturami                  |
| FC 106   | _SK_REGULACE       | Definice regulací SK                            |
| FC 107   | _SK_POHONY         | Definice jednotlivých pohonů                    |
| FC 108   | _SK_BLOKACE        | Definice blokácí                                |
| FC 160   | SK_KOPACKA_OT      | Výpočet otáček kopačky                          |
| FC 161   | SK_KOPACKA_VYS_PRE | Výpočet výšky kopačky při scezování předku      |
| FC 162   | SK_KOPACKA_VYS_VYS | Výpočet výšky kopačky při scezování výstřelků   |
| FC 163   | SK_KOPACKA_ND      | Ovládání hydraulického agregátu (výška kopačky) |
| FC 164   | SK_TLAK_DIF        | Výpočet tlakové difference                      |
| FC 165   | SK_KRIVKA          | Výpočet scezovací křivky                        |

jednotlivé části mohou běžet na různých počítačích, které jsou spojeny sítí. TomPack má podporu pro řadu řídicích systémů - Siemens, ABB, Rockwell, Saia, Teco atd. Navíc má široké možnosti propojení se systémy třetích stran - komunikace DDE, OPC, ODBC, ADO, COM atd.[7]

### 4.3.2. Struktura TomPacku

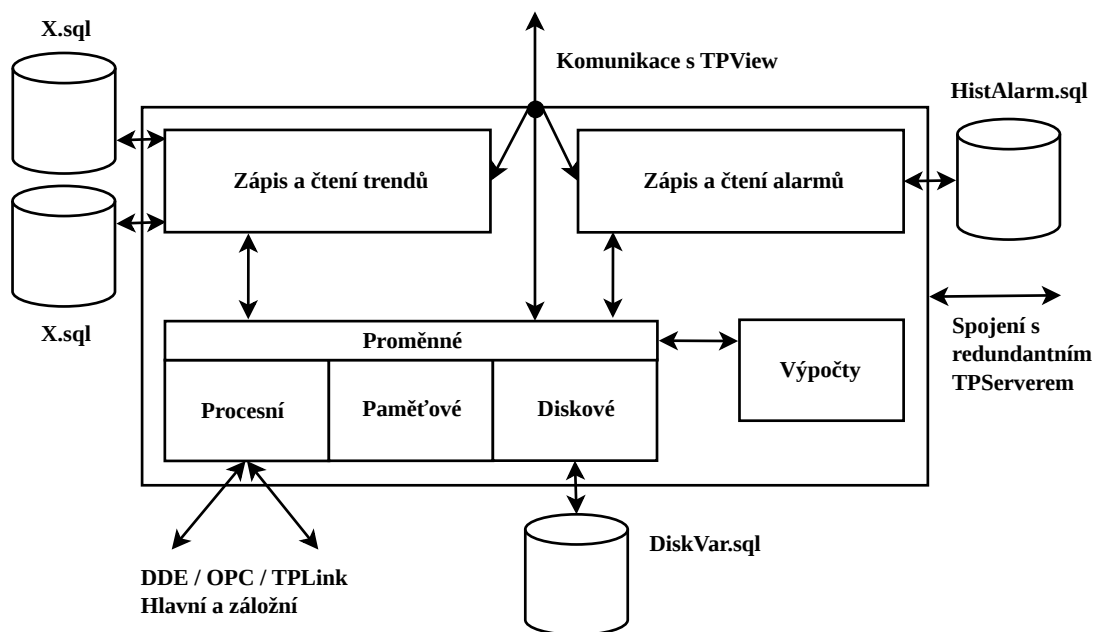
Samotný Systém TomPack je složen ze čtyř programů – TPConfig, TPServer, TPView a UniServer (TPLink). Jedná se o několikavrstvou architekturu klient-server. Tím je umožněno mnoho různých konfigurací jak pro malé, tak i pro velké projekty. Tyto programy mají následující funkci:

**UniServer** – Shromažďuje hodnoty proměnných v PLC a případně do nich zapisuje, slouží jako převodník mezi protokolem řídicího systému a protokolem DDE, OPC apod.

**TPServer** – Hlavní výkonná část TomPacku. Stará se o vyčítání potřebných hodnot z UniServeru, kontroluje alarmy, zapisuje do trendových a alarmových souborů a vykonává skripty.

**TPView** - Vlastní vizualizační část TomPacku. Až tento program zobrazuje veškeré prvky na obrazovce a slouží k ovládání technologie.

**TPConfig** – Slouží pro editaci projektu, který poté posílá programům TPServer a TPView.



Obrázek 4.6: Struktura TomPack serveru. [7]

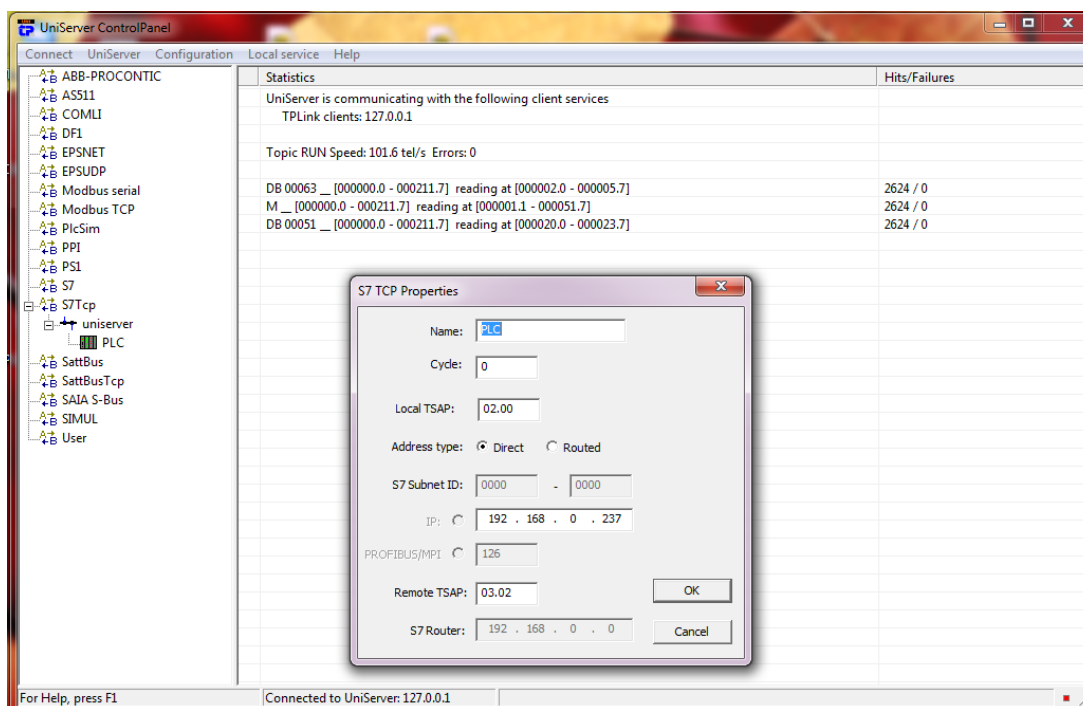
Další užitečnou vlastností tohoto systému je knihovna **TPCom**, která umožňuje komunikovat s TPserverem. Jedná se zde o dynamický objekt, který lze propojit s libovným programovacím jazykem, který podporuje načtení COM objektů. Připojení pomocí takového objektu se pro TPServer jeví jako další klient. [7]

Tato architektura nám umožňuje libovolně diverzifikovat náš řídicí systém. Instalace TomPacku v. 2.11 má 12 MB. Tato instalace obsahuje vše co je popsáno v této sekci. Celý projekt je pak uložen v jednom tpp souboru, který se velikostí pohybuje v řádech jednotek MB. Krom tpp souboru lze exportovat projekt jako několik textových souborů vhodných pro verzovací software a tím pádem umožňuje i týmovou spolupráci. Vzhledem k tomu, že jsou trendy a historická data ukládány ve formátu SQLite, je možno projekt analyzovat a optimalizovat vzdáleně bez větších potíží.

### 4.3.3. Postup realizace

Můžeme zde využít dvou postupů. První případ je, kdy v PLC máme pouze přepisy proměnných do DB oblasti. Druhým případem pak může být, že máme celý řídicí systém v PLC a externě provádíme adaptaci proměnných. Tradičně je však naprostá většina implementována v PLC, ale v obou případech musíme spustit Uniserver, na kterém nakonfiguruje komunikační protokol příslušný danému PLC.

V našem případě se připojujeme pomocí protokolu S7TCP. Jedná se o protokol S7 přenášený po ethernetové vrstvě. Proto musíme krom TSAP adres předvyplnit i IP adresu našeho převodníku. Remote TSAP je TSAP automatu (rack a slot). Local TSAP je TSAP Uniserveru. Musí se zde však lišit od TSAPu automatu. [8]

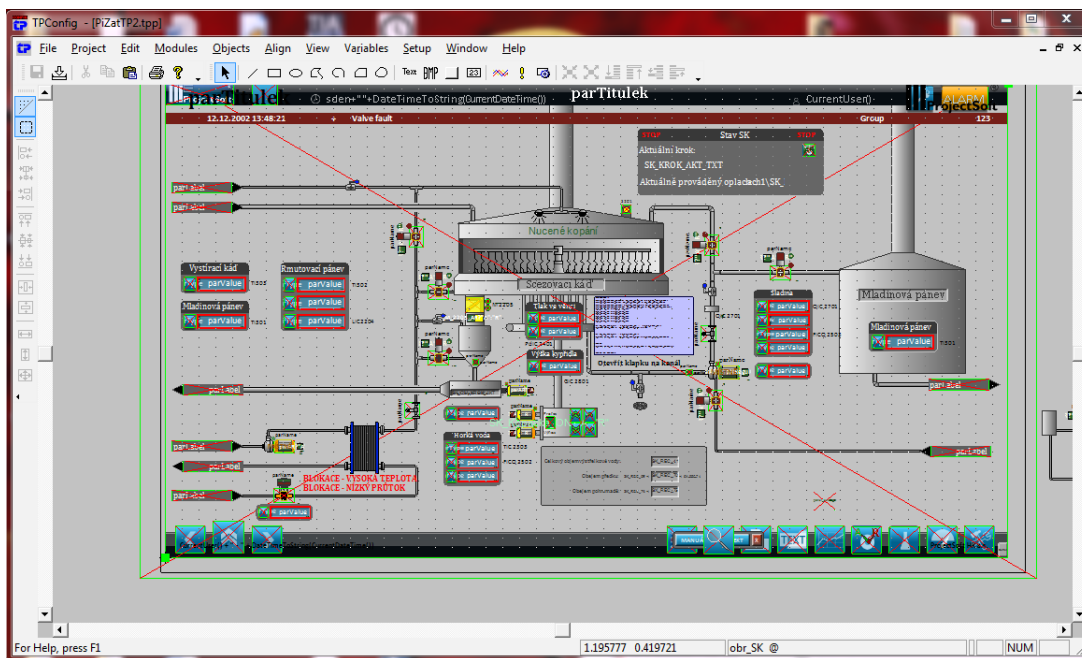


Obrázek 4.7: Ukázka nastavení Uniserveru.

V TPConfigu je vytvořen nový projekt, ve kterém se nejprve namapují proměnné na adresy podle projektu v PLC a nastaví se adresa clusteru (adresa stroje, kde běží TPServer s Uniserverem). Definice proměnných se dá pro urychlení práce importovat pomocí CSV souboru. V tomto souboru je kromě jména obsažen dále datový typ proměnné, jestli se jedná o procesní (komunikovanou z PLC), serverovou (existuje pouze v rámci clusteru) nebo view proměnnou (existuje pouze v klientu). Dále je zde definováno, do jaké skupiny proměnných patří, adresa v PLC, přepočít do jiného rozsahu, definice alarmů po překročení zadaných mezí, texty alarmů a parametry logování (logovací skupina, minimální/maximální sken a hystereze).

Po importu proměnných je lze připojit do našich předpřipravených modulů. Celá grafika (až na importované obrázky) je vektorová, tzn. že pokud si uživatel nepřeje pracovat v režimu celé obrazovky, má zde možnost přizpůsobit si velikost okna dle vlastní volby bez ztráty obsažených informací. I z hlediska implementace je vizualizace velmi dynamická včetně animací. Výsledný projekt se odešle pomocí klávesy F7 do našeho clusteru a klienta. V tuto chvíli by měl TPServer odeslat požadavek na Uniserver a ten potom dále do PLC. Pokud vše proběhlo správně, neměli bychom na Uniserveru vidět žádné červené značky. V TPView by neměl být žádný modul prokřížkovaný (naznačuje ztrátu komunikace) a měly by pomalu začít přicházet alarmy.

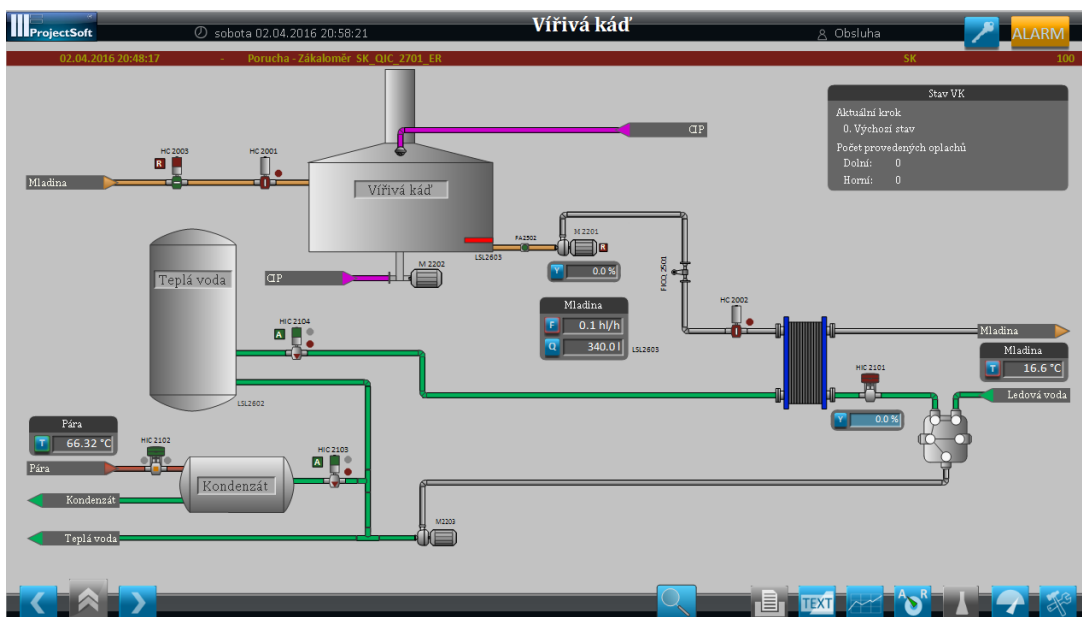
V projektu jsou definovány 3 úrovně přístupu. Bez přihlášení může uživatel pouze nahlížet na technologické obrazovky, parametry a trendy měřených veličin. Obsluha může ovládat celou technologii, parametry může však měnit pouze u načtené receptury. Nemá



Obrázek 4.8: Obrazovka TPCConfig.

oprávnění měnit jiné technologické parametry. Ty může měnit pouze technolog, který je v našem případě sládek.

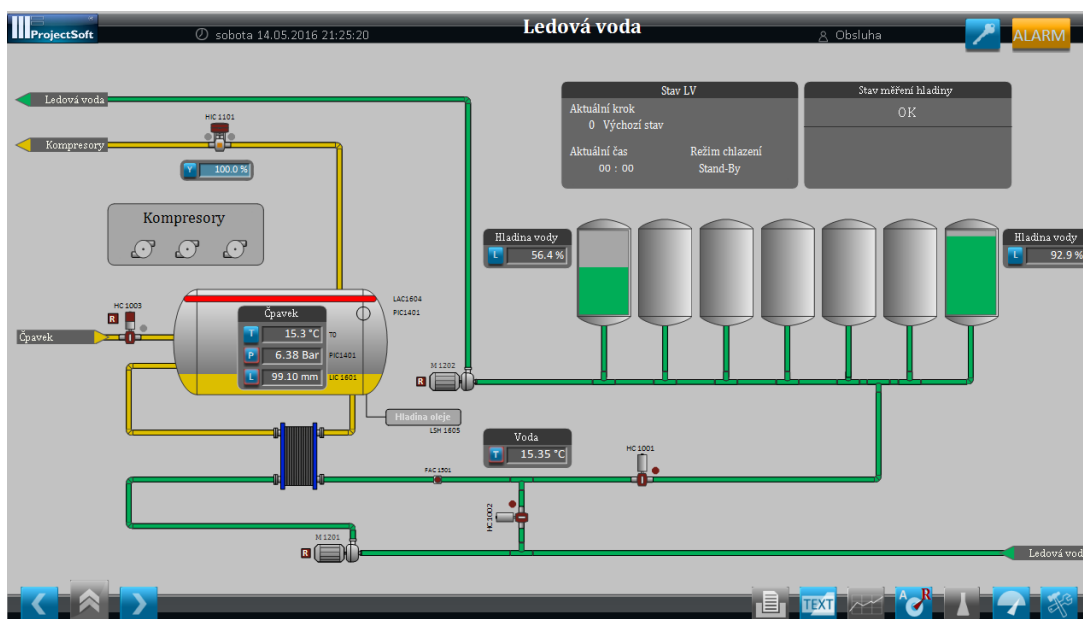
Na obr. 4.8 je vidět náš editor projektu TPCConfig. Je zde vidět právě upravovaná obrazovka scezovací kádě. Oproti např. WinCC se hodnoty v modulech nevyhodnocují. Každá instance zde je pouhou referencí na svoji definici. Proto když otevřeme jeden modul na obrazovce, otevřou se nám najednou všechny moduly se stejnou definicí. Uprostřed okna se nachází větší fialový rám. V něm se nachází View kód pro simulaci zpětných hlášek a pohyb kopačky. Tato obrazovka v klientu je zobrazena na obr. 4.12.



Obrázek 4.9: Nová obrazovka vířivé kádě.



Jako první byly realizovány původní obrazovky vířivé kádě a výroby ledové vody. Vzhledem k tomu, že v TomPacku verze 1.19 (původní SCADA systém) neexistovaly moduly, má každý jeden objekt svoje specifika. Z toho důvodu bylo nezbytné vytvořit nové moduly z existujících standardizovaných modulů a upravit je tak, aby funkcí odpovídaly původnímu návrhu. Největší změna ve vizualizaci, krom implementace modernějšího vzhledu, je změna rozlišení pro širokoúhlé monitory. Dále bylo zjednodušeno technologické schéma na prvky, které řídíme nebo od nich máme zavedenou alespoň informaci o stavu. Tyto změny přinesly výrazné zjednodušení, které je patrné zejména na obrazovce 4.9, kde je na první pohled patrné, kudy které médium proudí.



Obrázek 4.10: Nová obrazovka pro výrobu ledové vody.

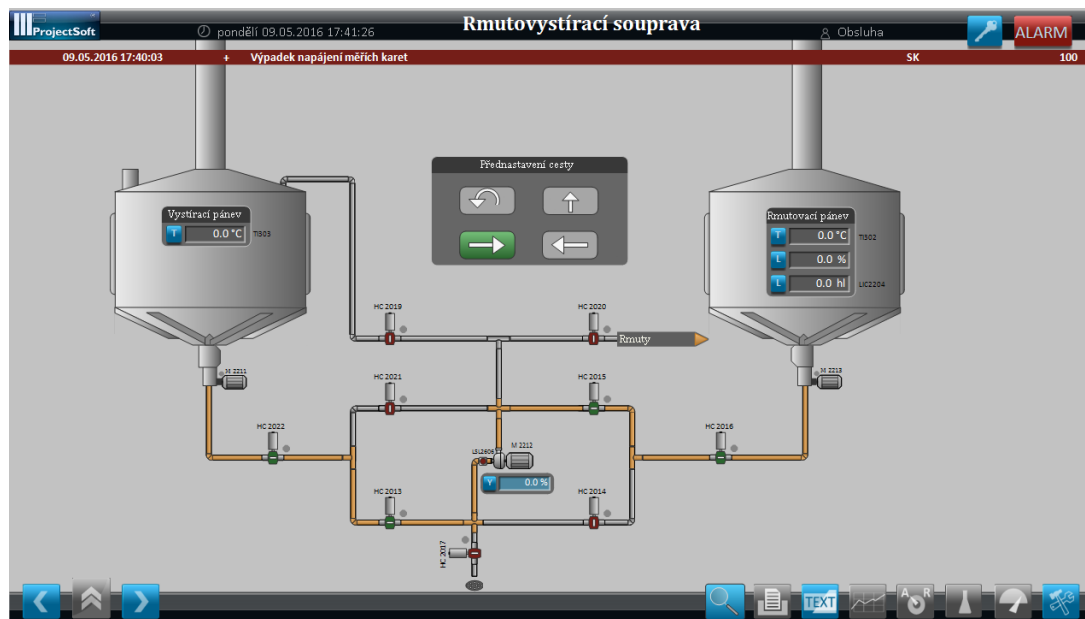
Na nových obrazovkách byla zachována stejná filozofie horní a dolní lišty. Horní lišta má primárně informativní charakter. Nalezneme zde název obrazovky, na které se nacházíme, aktuální datum a čas, přihlášeného uživatele a informaci o vyhlášeném alarmu. Nový alarm je zobrazen v červeném řádku pod horní lištou a je doprovázen zvukovou signalizací. Dále se rozblíká tlačítko ALARM, které bliká tak dlouho, dokud je aktivní alespoň jeden alarm. Červený alarmový řádek zmizí se zvukovou signalizací jakmile je alarm potvrzen. To se může provést kliknutím na alarmový řádek, nebo na obrazovce aktuálních alarmů, která je přístupná pod tlačítkem ALARM. Zde dále najdeme obrazovku historických alarmů a obrazovku událostí. Na obrazovce událostí můžeme nalézt informace o ručním zásahu obsluhy a změně parametrů. Tato obrazovka se ukázala velice užitečná zejména při řešení problémových stavů. Vedle tlačítka alarm dále nalezneme tlačítko s klíčem, které slouží pro přihlášení nebo odhlášení uživatele.

Na spodní liště pak nalezneme zleva ovládací prvky pro změnu obrazovky, zobrazení náhledu teplot, tisk, zobrazení či skrytí označení prvků, zobrazení uživatelského trendu technologie, zobrazení ovládacího panelu technologie, zobrazení obrazovky parametrů,



zobrazení obrazovky receptů a odkaz na servisní obrazovku. Filozofie barev tlačítek a zadávacích je taková, že pokud je pozadí modré, tak je přístupné/aktivní pro daného uživatele. Mezi technologickými obrazovkami lze dále přecházet kliknutím na odkazovou šipku.

Na obrazovce rmutovystírací soupravy (obr. 4.11) jsou znázorněny varní nádoby a „kolotoč“, který se skrývá v podsvětí varny. Byly zde použity stávající analogové signály o teplotě v jednotlivých nádobách a hladině ve rmutovací pánvi.



Obrázek 4.11: Obrazovka rmutovystírací soupravy.

Dále zde nalezneme čtyři velká tlačítka, která slouží jako náhrada za mechanickou páku, která udávala směr čerpání. Zde automat na náběžnou hranu stisku tlačítka přepne všechny ventily do přednastaveného stavu. Podle stavu jednotlivých ventilů se dále probarvuje potrubí, které tak ještě zvýrazní trasu přečerpávání.

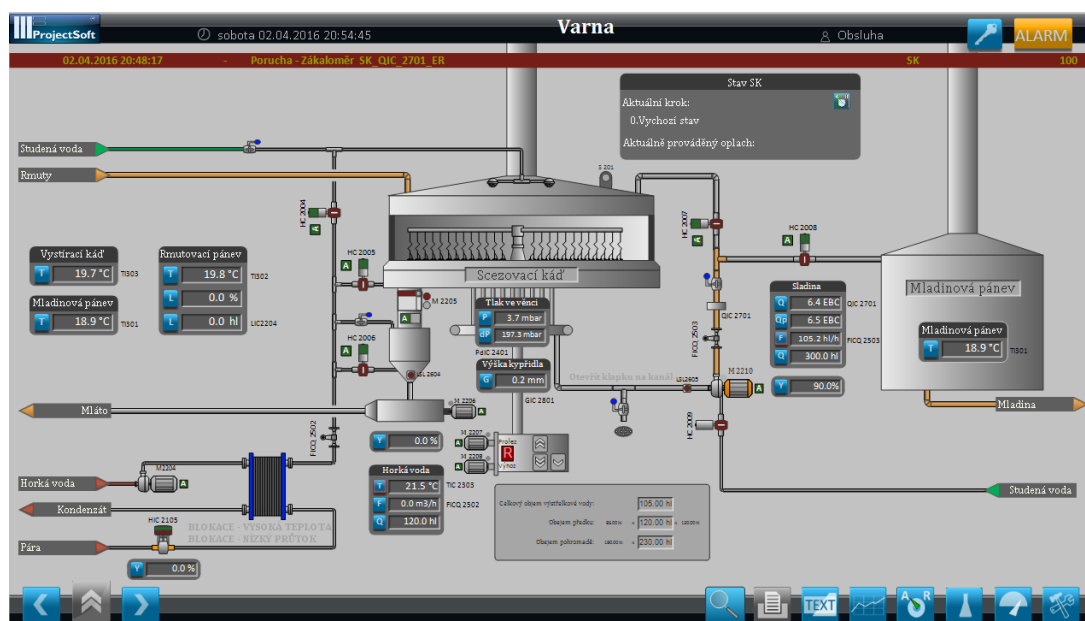
Dále zde můžeme nastavit otáčky rmutovacího čerpadla a ovládat míchadla v jednotlivých nádobách. Aktivace pohonů míchadel je dále podpořena animací míchadel.

Pro budoucí rozšíření zde bylo počítáno s místem pro regulační ventily páry (ohřev nádob) a cesty pro CIP.

Oproti této obrazovce je na obrazovce scezovací kádě výrazně více prvků, nejen řídicích, ale informativních a blok pro rychlou úpravu parametrů. Jedná se o šedý rám ve spodní části obrazovky. Ukázalo se totiž, že vzhledem k okometrické metodě vaření rmutů je nezbytné mírně modifikovat parametry každé scezované várky. Vzhledem k velkému množství parametrů byly vytipovány tři, které byly umístěny na technologickou obrazovku a umožňují tak rychlejší a bezpečnější zásah.

V horní části obrazovky je umístěn rám, kde je vyobrazen aktuální stav sekvenceru. Ve středu obrazovky je samotná scezovací kád'. Vidíme zde indikace měřeného tlaku ve

scezovacím věnci, vypočtenou tlakovou diferencí a výšku kypřidla. Ta se promítne do animace, kde je zvýrazněno jestli se otáčí kopačka či jak je vysoko. Pod scezovací kádí se dále nachází hydraulický agregát a pohony prořezu a výhozu. Ovládání hydraulického agregátu bylo zjednodušeno do tří tlačítek, které umožňují manuálně jezdit s kopačkou rychle nahoru nebo dolů, případně pomalu dolů. Červené R znázorňuje manuální režim řízení.



Obrázek 4.12: Vizualizace scezovací kádě.

Napravo od hydraulického agregátu se nachází scezovací čerpadlo a ruční výpusť na kanál. Zde se podle stavu sekvence rozbliká nápis *Otevřít klapku na kanál*. To je jediný případ, kdy by tato klapka měla být otevřená.

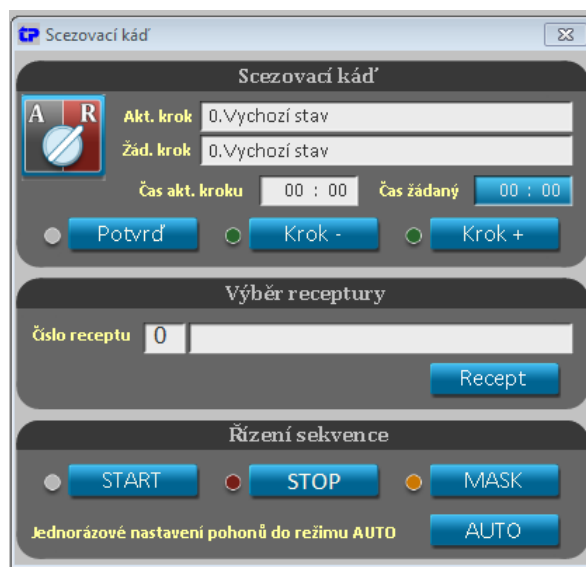
Nalevo od scezovacího věnce se nachází víko pro výhoz mláta se zásobníkem a šnekovým čerpadlem. Původní měřené hodnoty byly na žádost zachovány pohromadě. Pod těmito hodnotami je znázorněn tepelný výměník pro dohřev výstřelkové vody a neaktivní varování k tomu přidružené.

U scezovacího čerpadla se nachází klapka pro chlazení ucpávky čerpadla, měření průtoku, scezeného objemu a zákalu. Dále se zde nachází ventil, který vytváří protitlak při scezování. Tento ventil se nastavil ručně při testovacím provozu tak, aby při žádaném průtoku byly otáčky čerpadla dle strojního návrhu. To je zásadní prvek pro spolehlivé scezování. Protitlak nám zajišťuje, aby se nám neztrhla scezovací vrstva mláta.

Zákal se měří multispektrálním způsobem, aby úroveň zákalu nebyla závislá na barvě scezované sladiny. Z této veličiny se počítá průměr za celé scezování. Jedná se o důležitý údaj do varního deníku.

Na obr. 4.13 je znázorněn ovládací panel scezovací sekvence. Je rozdělen na tři části. V první části se nachází hlavní přepínač automatický/manuální režim. Často používané

tlačítko *potvrď*. Tlačítka *krok +* a *krok -* jsou aktivní pouze pokud je sekvence v ručním režimu. Obsluha může pomocí těchto tlačítek změnit žádaný krok a pro potvrzení přechodu změnit režim sekvenceru na automatický. Toho se využívá např. pokud neproběhlo správně vyháknutí či zaháknutí kopačky. Výjimečně lze této operace využít při řešení velmi nestandardních stavů.



Obrázek 4.13: Ovládací panel scezovací kádě.

Ve druhé části se nachází číslo a název aktuální receptury. Dále je zde tlačítko, které vyvolá dialog volby nové receptury.

ProjectSoft

sobota 02.04.2016 20:56:37

Parametry pro Varnu

Obsluha

ALARM

|    |   |                  |    |                          |          |
|----|---|------------------|----|--------------------------|----------|
| 1  | Najetí kopačky na výšku pro míchání               | 219.99 mm        | 47 | K40, K41 – výška kopačky | 5.99 mm  |
| 2  | K14 – max doba podrážení 1                        | 300.00 s         | 48 | K40 – doba čištění síta  | 300.00 s |
| 3  | K16 – max doba podrážení 2                        | 600.00 s         | 49 | K42 – doba oplachu SK    | 30.00 s  |
| 4  | Scezoání předku, výstřelku - výška při kopání     | 29.99 mm         |    |                          |          |
| 5  | Scezoání předku, výstřelku - minimální čas kopání | 10.00 s          |    |                          |          |
| 6  | Scezoání předku, výstřelku - dP kopání stop       | 4.99 mbar        |    |                          |          |
| 07 | K42 - Výška kopačky                               | 350.00           |    |                          |          |
| 16 |   | 0.00             |    |                          |          |
| 17 |   | 0.00             |    |                          |          |
| 18 |   | 0.00             |    |                          |          |
| 19 |   | 0.00             |    |                          |          |
| 21 | Cerpaní mlata - doba otevření HC 2206             | 2 s              |    |                          |          |
| 22 | Cerpaní mlata - doba zavření HC 2206              | 15 s             |    |                          |          |
| 25 | výška kopačky při prořezu - dolní mez             | 50.00 mm         |    |                          |          |
| 26 | výška kopačky při prořezu - horní mez             | 219.99 mm        |    |                          |          |
| 31 | otáčky kopačky – dolní mez                        | 50.00 %          |    |                          |          |
| 32 | otáčky kopačky – horní mez                        | 75.00 %          |    |                          |          |
| 33 | K3, K4, K5, K59 - Výška kopačky - zaháknutí       | 339.99 mm        |    |                          |          |
| 34 | K33 – výška kopačky - vyháknutí                   | 360.00 mm        |    |                          |          |
| 35 | Kopačka – tolerance pohybu dolů                   | 10.00 mm         |    |                          |          |
| 36 | Kopačka – tolerance pohybu nahoru                 | 10.00 mm         |    |                          |          |
| 37 | Kopačka - tolerance pohybu rychle                 | 19.99 mm         |    |                          |          |
| 39 | K49 - Počet oplachů dna SK                        | 5.00x            |    |                          |          |
| 40 |   | 0.00             |    |                          |          |
| 44 | K37 - minimální doba kroku / pokles kopačky       | 300.00 s 6.99 mm |    |                          |          |
| 45 | K38 - minimální doba kroku / pokles kopačky       | 300.00 s 4.99 mm |    |                          |          |
| 46 | K39 - minimální doba kroku / pokles kopačky       | 300.00 s 3.99 mm |    |                          |          |

TEXT

</

Obrázek 4.14: Obrazovka parametrů scezovací kádě.

V poslední sekci se nacházejí tlačítka *START*, *STOP*, *MASK* a *AUTO*. Tlačítko *START* se používá pro uvedení technologie do chodu. *STOP* pro odstavení technologie. Po stisknutí tohoto tlačítka zůstává sekvencer ve stavu před stisknutím tohoto tlačítka. Zastaví se všechny pohony, vyhlásí se alarm a rozsvítí se červeně indikace nalevo od tlačítka. Do stejného stavu se dostane sekvence pokud nastane jakákoliv porucha. Tlačítko *MASK* vyvolá maskování poruch, které by takto odstavily technologii. Jedná se však o relativně nebezpečnou funkci. Pokud je tato funkce aktivní, musí obsluha pracovat se zvýšenou pozorností. Tlačítko *AUTO* uvede všechny pohony ovládané sekvencí do automatického režimu.

| Id | Popis  | Hodnota     |
|----|--|-------------|
| 1  | K2 - množství voda pod síta  | 5.00 hl     |
| 2  | K6 až K12 - výška kopačky při čerpání rmutu                        | 172.99 mm   |
| 3  | K9 - čas čerpání do SK 1   | 0.00 s      |
| 4  | K10 - čas čerpání do SK 2  | 0.00 s      |
| 5  | K13 - prodleva po čerpání do SK                                    | 1200.00 s   |
| 6  | K11, K14 - poddrážení 1 - průtok                                   | 79.99 hl/h  |
| 7  | K14 - poddrážení 1 - tlaková difference                            | 9.99 mbar   |
| 8  | K15 - prodleva po poddrážení 1                                     | 0.00 s      |
| 9  | EBC - MAX zákal  | 30.00       |
| 10 | K16 - poddrážení 2 - průtok  | 79.99 hl/h  |
| 11 | K17 - prodleva po poddrážení 2                                     | 0.00 s      |
| 12 | K16, K17 - výška kopačky   | 150.00 mm   |
| 13 |  | 0.00        |
| 14 | Scezování předku - dávka objemu pro zásah kopačky                  | 2.00 hl     |
| 15 | Scezování předku - pokles výšky kopačky při růstu o dP růst 1      | 10.00 mm    |
| 16 | Scezování předku - pokles výšky kopačky při růstu o dP růst 2      | 14.99 mm    |
| 17 | Scezování předku - pokles výšky kopačky při růstu o dP růst 3      | 19.99 mm    |
| 18 | Scezování předku - dP růst 1                                       | 2.00 mbar   |
| 19 | Scezování předku - dP růst 2                                       | 4.00 mbar   |
| 20 | Scezování předku - dP růst 3                                       | 6.00 mbar   |
| 21 | Scezování předku - růst výšky kopačky při poklesu o dP pokles 1    | 10.00 mm    |
| 22 | Scezování předku - růst výšky kopačky při poklesu o dP pokles 2    | 19.99 mm    |
| 23 | Scezování předku - dP pokles 1                                     | 2.99 mbar   |
| 24 | Scezování předku - dP pokles 2                                     | 4.00 mbar   |
| 25 | Scezování předku - min výška kopačky pokud dP < dP min 12          | 50.00 mm    |
| 26 | Scezování předku - min výška kopačky pokud dP > dP min 12          | 29.99 mm    |
| 27 | Scezování předku - dP min 12                                       | 120.00 mbar |
| 28 | Scezování předku - mezní zákal                                     | 50.00 EBC   |
| 29 | Scezování předku - přírůstek min výšky při překročení max zákalu   | 10.99 mm    |
| 30 | Scezování předku - dP kopání start                                 | 250.00 mbar |
| 31 | Scezování předku - objem do konce předku - nespustuje se kopání    | 10.00 hl    |
| 32 | Scezování předku - přírůstek výšky po kopání                       | 50.00 mm    |
| 33 | Scezování předku - max výška po kopání                             | 100.00 mm   |
| 34 |  | 0.00        |
| 35 | Scezování výstřelků - objem při napouštění výstřelků               | 40.00 hl    |
| 36 |  | 0.00        |
| 37 | Scezování výstřelků - objem jedné dávky vysazovací vody            | 5.00 hl     |
| 38 |  | 0.00        |
| 39 |  | 0.00        |
| 40 | Scezování výstřelků - objem vysazovací vody                        | 20.00 hl    |
| 41 | Scezování výstřelků - celkový objem vysazovací vody                | 105.00 hl   |
| 42 | Maximální zákal  | 50.00       |
| 43 | Scezování výstřelků - počáteční výška kopačky                      | 119.99 mm   |
| 44 | Scezování výstřelků - počáteční objem - kopačka nereaguje          | 10.00 hl    |
| 45 | Scezování výstřelků - dávka objemu pro zásah kopačky               | 2.00 hl     |
| 46 | Scezování výstřelků - pokles výšky kopačky při růstu o dP růst 1   | 10.00 mm    |
| 47 | Scezování výstřelků - dP pokles 1                                  | 2.00 mbar   |
| 48 | Scezování výstřelků - růst výšky kopačky při poklesu o dP pokles 1 | 10.00 mm    |
| 49 | Scezování výstřelků - dP růst 1                                    | 2.00 mbar   |
| 50 | Scezování výstřelků - max výška kopačky                            | 219.99 mm   |
| 51 | Scezování výstřelků - min výška kopačky pokud dP < dP min 12       | 29.99 mm    |
| 52 | Scezování výstřelků - min výška kopačky pokud dP > dP min 12       | 19.99 mm    |
| 53 | Scezování výstřelků - dP min 12                                    | 149.99 mbar |
| 54 |  | 0.00        |

Obrázek 4.15: Obrazovka receptury část 1.

Na obr. 4.14 je znázorněna obrazovka parametrů scezovací kádě. Na žádost strojního technologa bylo obsluze uděleno oprávnění měnit pouze počet oplachů dna scezovací kádě. Zbylé parametry slouží pouze jako náhled.

U receptur je situace o poznání jiná. Vzhledem k místním zvyklostem vaření bylo ustoupeno od více receptur. Byla navržena univerzální receptura, která funguje na variaci různých sladů a obsluha si pouze drobně upraví aktuální recepturu dle potřeby. Tento systém by se měl změnit se zavedením automatického rmutování.

Na první obrazovce receptur se nachází parametry, které ovlivňují převážně pohyb kopačky. Jedná se krom počátečních poloh o parametry, které ovlivňují reakce na změnu diferenciálního tlaku a mezního zákalu. Tyto parametry jsou zde dvakrát. Jedna sada parametrů je pro scezování předku a druhá pro scezování výstřelků. Dále zde najdeme parametry pro poddrážení jako je např. průtok, prodlevy a mezní zákal.

Na druhé obrazovce receptur se nachází zbytek parametrů kopačky pro scezování výstřelků, které se nevešly na první. Parametry rec. 65 - 86 definují scezovací křivku. Jedná

se vždy o scezený objem a jakého průtoku chceme při tomto objemu dosáhnout. Poslední parametr slouží k zadávání počáteční polohy kopačky pro výhoz mláta.

| Id  | Parametr  | Hodnota     |
|-----|---|-------------|
| 55  | Scezení výstřelků - přírůstek min výšky při překročení max zákalu | 10.00 min   |
| 56  | Scezení výstřelků - dP kopání start                               | 250.00 m³/h |
| 57  | Scezení výstřelků - objem do konce scezení - nestartuje se kopání | 10.00 hl    |
| 58  | Scezení výstřelků - přírůstek výšky po kopání                     | 50.00 mm    |
| 59  | Scezení výstřelků - max výška po kopání                           | 200.00 mm   |
| 60  |   | 0.00        |
| 61  |   | 0.00        |
| 62  |   | 0.00        |
| 63  |   | 0.00        |
| 64  |   | 0.00        |
| 65  | K18 - scezení předku - objem 0                                    | 7.00 hl     |
| 66  | K18 - scezení předku - objem 1                                    | 15.00 hl    |
| 67  | K19 - scezení předku - objem 2                                    | 35.00 hl    |
| 68  | K20 - scezení předku - objem 3                                    | 70.00 hl    |
| 69  | K21 - scezení předku - objem 4                                    | 85.00 hl    |
| 70  | K22 - scezení předku - objem 5                                    | 120.00 hl   |
| 71  | K24 - scezení výstřelků - objem 6                                 | 130.00 hl   |
| 72  | K25 - scezení výstřelků - objem 7                                 | 140.00 hl   |
| 73  | K26 - scezení výstřelků - objem 8                                 | 160.00 hl   |
| 74  | K27 - scezení výstřelků - objem 9                                 | 180.00 hl   |
| 75  | K28 - scezení výstřelků - objem 10                                | 230.00 hl   |
| 76  | K18 - scezení předku - průtok 0                                   | 65.00 hl/h  |
| 77  | K18 - scezení předku - průtok 1                                   | 65.00 hl/h  |
| 78  | K19 - scezení předku - průtok 2                                   | 75.00 hl/h  |
| 79  | K20 - scezení předku - průtok 3                                   | 75.00 hl/h  |
| 80  | K21 - scezení předku - průtok 4                                   | 75.00 hl/h  |
| 81  | K22 - scezení předku - průtok 5                                   | 79.99 hl/h  |
| 82  | K23 - scezení výstřelků - průtok 6                                | 75.00 hl/h  |
| 83  | K25 - scezení výstřelků - průtok 7                                | 75.00 hl/h  |
| 84  | K26 - scezení výstřelků - průtok 8                                | 75.00 hl/h  |
| 85  | K27 - scezení výstřelků - průtok 9                                | 79.99 hl/h  |
| 86  | K28 - scezení výstřelků - průtok 10                               | 79.99 hl/h  |
| 87  |   | 0.00        |
| 88  |   | 0.00        |
| 89  |   | 0.00        |
| 90  |   | 0.00        |
| 91  |   | 0.00        |
| 92  |   | 0.00        |
| 93  |   | 0.00        |
| 94  |   | 0.00        |
| 95  |   | 0.00        |
| 96  |   | 0.00        |
| 97  |   | 0.00        |
| 98  |   | 0.00        |
| 99  |   | 0.00        |
| 100 | K34 - výhoz mláta - počáteční poloha kopačky                      | 168.59 mm   |

Obrázek 4.16: Obrazovka receptury část 2.

Obrazovka editace receptur je přístupná ze servisní obrazovky a to pouze technologovi. Tato obrazovka je znázorněna na obr. 4.17. Tato obrazovka je identická s obrazovkou editace aktuální receptury až na přístupová práva a několik tlačítek na spodní liště. Funkce těchto tlačítek je podrobně popsána na str. 38.

| Id | Parametr   | Hodnota   |
|----|--|-----------|
| 1  | K2 - množství voda pod síta                                      | 0.00 hl   |
| 2  | K6 až K12 - výška kopačky při čerpání rmutu                      | 0.00 mm   |
| 3  | K9 - čas čerpání do SK 1   | 0.00 s    |
| 4  | K10 - čas čerpání do SK 2  | 0.00 s    |
| 5  | K13 - prodleva po čerpání do SK                                  | 0.00 s    |
| 6  | K11, K14 - podráženi 1 - průtok                                  | 0.00 hl/h |
| 7  | K14 - podráženi 1 - tlaková difference                           | 0.00 mbar |
| 8  | K15 - prodleva po podráženi 1                                    | 0.00 s    |
| 9  |  | 0.00      |
| 10 | K16 - podráženi 2 - průtok                                       | 0.00 hl/h |
| 11 | K17 - prodleva po podráženi 2                                    | 0.00 s    |
| 12 | K16, K17 - výška kopačky   | 0.00 mm   |
| 13 |  | 0.00      |
| 14 | Scezení předku - dávka objemu pro zásah kopačky                  | 0.00 hl   |
| 15 | Scezení předku - pokles výšky kopačky při růstu o dP růst 1      | 0.00 mm   |
| 16 | Scezení předku - pokles výšky kopačky při růstu o dP růst 2      | 0.00 mm   |
| 17 | Scezení předku - pokles výšky kopačky při růstu o dP růst 3      | 0.00 mm   |
| 18 | Scezení předku - dP růst 1                                       | 0.00 mbar |
| 19 | Scezení předku - dP růst 2                                       | 0.00 mbar |
| 20 | Scezení předku - dP růst 3                                       | 0.00 mbar |
| 21 | Scezení předku - růst výšky kopačky při poklesu o dP pokles 1    | 0.00 mm   |
| 22 | Scezení předku - růst výšky kopačky při poklesu o dP pokles 2    | 0.00 mm   |
| 23 | Scezení předku - dP pokles 1                                     | 0.00 mbar |
| 24 | Scezení předku - dP pokles 2                                     | 0.00 mbar |
| 25 | Scezení předku - min výška kopačky pokud dP < dP min 12          | 0.00 mm   |
| 26 | Scezení předku - min výška kopačky pokud dP > dP min 12          | 0.00 mm   |
| 27 | Scezení předku - dP min 12                                       | 0.00 mbar |
| 28 | Scezení předku - mezní zákal                                     | 0.00 t/c  |
| 29 | Scezení předku - přírůstek min výšky při překročení max zákalu   | 0.00 mm   |
| 30 | Scezení předku - dP kopání start                                 | 0.00 mbar |
| 31 | Scezení předku - objem do konce předku - nestartuje se kopání    | 0.00 hl   |
| 32 | Scezení předku - přírůstek výšky po kopání                       | 0.00 mm   |
| 33 | Scezení předku - max výška po kopání                             | 0.00 mm   |
| 34 |  | 0.00      |
| 35 | Scezení výstřelků - objem při napouštění výstřelků               | 0.00 hl   |
| 36 |  | 0.00      |
| 37 | Scezení výstřelků - objem jedné dávky vyslázovací vody           | 0.00 hl   |
| 38 |  | 0.00      |
| 39 |  | 0.00      |
| 40 | Scezení výstřelků - objem vyslázovací vody                       | 0.00 hl   |
| 41 | Scezení výstřelků - celkový objem vyslázovací vody               | 0.00 hl   |
| 42 |  | 0.00      |
| 43 | Scezení výstřelků - počáteční výška kopačky                      | 0.00 mm   |
| 44 | Scezení výstřelků - počáteční objem - kopačka nereaguje          | 0.00 hl   |
| 45 | Scezení výstřelků - dávka objemu pro zásah kopačky               | 0.00 hl   |
| 46 | Scezení výstřelků - pokles výšky kopačky při růstu o dP růst 1   | 0.00 mm   |
| 47 | Scezení výstřelků - dP pokles 1                                  | 0.00 mbar |
| 48 | Scezení výstřelků - růst výšky kopačky při poklesu o dP pokles 1 | 0.00 mm   |
| 49 | Scezení výstřelků - dP růst 1                                    | 0.00 mbar |
| 50 | Scezení výstřelků - max výška kopačky                            | 0.00 mm   |
| 51 | Scezení výstřelků - min výška kopačky pokud dP < dP min 12       | 0.00 mm   |
| 52 | Scezení výstřelků - min výška kopačky pokud dP > dP min 12       | 0.00 mm   |
| 53 | Scezení výstřelků - dP min 12                                    | 0.00 mbar |
| 54 |  | 0.00      |

Obrázek 4.17: Ukázka editace archivní receptury.

Jak bylo patrné z několika posledních obrazovek, je scezovací kád' osazena velkým počtem různých parametrů. Zpravidla se tyto parametry ladí za přítomnosti zkušeného technologa.

SCADA systém je dnes často jediné místo, přes které může obsluha interagovat s vlastní technologií. Proto byl nejen návrh vizualizace průběžně konzultován s obsluhou, aby bylo dosaženo maximální spokojenosti zákazníka.

Do budoucna se plánuje sjednotit vizualizace varny s vizualizací CIP jednotky tak, aby se dalo vše ovládat z jednoho místa a obsluha tak nemusela přecházet do jiné budovy. To umožní nově nainstalovaný převodník PN/DP, který zpřístupnil PLC CIP a varny z jedné sítě.

## 5. Ověření funkčnosti

Ověření funkčnosti probíhalo v několika fázích:

1. Simulace řídicího procesu.
2. Test nových rozvaděčů na dílně.
3. Ověření zapojení v provozu.
4. Mokré zkoušky.
5. Testovací várka.
6. Ostrý provoz.

První fáze po implementaci řídicího algoritmu a připravení SCADA systému spočívala v simulaci celého systému. V této fázi byla využita nadstavba SIMATIC manageru PL-CSIM, který umožňuje simulovat chování PLC. Pomocí této konfigurace bylo ověřeno, že jsou připojeny všechny proměnné SCADA systému jak mají. Následně byl vytvořen jednoduchý skript (View code), který simuluje zpětné hlášení od pohonů a pohyby kopačky. Pomocí této jednoduché simulace se ladil hlavní sekvencer.

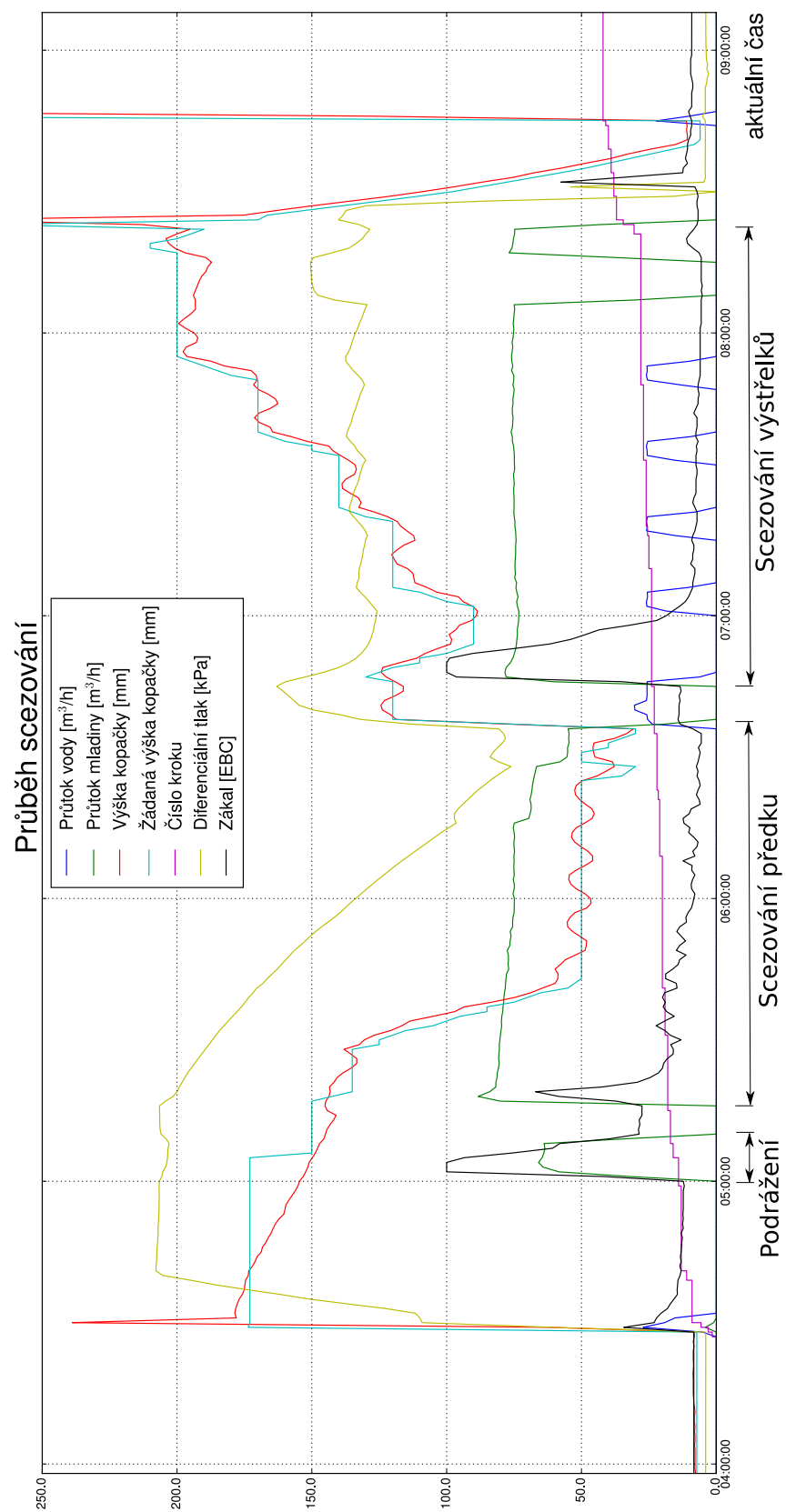
Druhá fáze, která probíhala částečně paralelně s první, spočívala v nahrání projektu do fyzického PLC a připojení se na nové periferie jejichž funkčnost byla následně ověřena. Při těchto testech byla dále ověřena funkčnost celého rozvaděče včetně frekvenčních měničů.

Třetí fáze probíhala již u zákazníka, kde se testovalo správné zapojení všech pohonů a čidel včetně bezpečnostních funkcí. Toto testování probíhá vždy alespoň ve dvou lidech, kde jeden sedí na velině a druhý obchází jednotlivé pohony a po vysílače žádá o otevření či krátké spuštění jednoho z pohonů. V této fázi byly dále nastaveny klíčové parametry kopačky (minimální a maximální výška, polohy vyháknutí a zaháknutí), koncové polohy víka výhozu mláta a ověřen směr otáčení všech pohonů.

Další fáze spočívala v zavodnění celého systému a zkoušení sekvence, jestli se chová na reálné soustavě dle očekávání. Při těchto zkouškách se hledaly netěsnosti v potrubí, ladily se různé prodlevy a prováděli se drobné úpravy v sekvenci. Během těchto zkoušek bylo možné přednastavit a vyzkoušet PID regulátory.

Při testovací várce již vše z technologického hlediska fungovalo. Bylo však zapotřebí v této fázi nastavit co nejlépe hlavní recepturu a odstranit poslední neduhy. První várka je vždy specifická, protože máme nová síta a scezování probíhá zpravidla vždy o něco lépe. Proto je třeba ladit recepturu na několika várkách. Během tohoto procesu byla zároveň proškolená obsluha.

V další fázi se již vše přenechalo obsluze a technik od té doby slouží jako pomoc na telefonu při případných potížích.



Obrázek 5.1: Časový záznam scezování.



V grafu na další stránce je znázorněn záznam klíčových parametrů během scezování. Jsou zde dále vyznačeny jednotlivé fáze scezování. Ze záznamu můžeme vyčíst, že diferenciální tlak klesal poměrně rychle a obsluha zasáhla snížením scezovacího průtoku. Zákal klesal poměrně rychle a držel se na nízkých hodnotách. Výstřelková voda byla dopuštěna čtyřikrát. Ke konci scezování výstřelků obsluha pravděpodobně přerušila scezování, změřila si potřebné parametry a usoudila, že je nezbytné scedit ještě určitý objem výstřelků.

Oscilace výšky kopačky jsou způsobeny nerovnostmi ramen. Při testování byly špatně nainstalovány mechanické zábrany proti překročení maximální výšky. Obsluha zvedla kopačku manuálně moc vysoko a tak došlo k mírnému ohnutí ramen. Od té doby můžeme pozorovat tyto oscilace, i když je po celou dobu vypnutý hydraulický agregát.

## 6. Závěr

Tato diplomová práce se zabývá modernizací varny pivovaru v Severních Čechách. Jedná se o čtyřnádobovou varnu s objemem 250 hl. Vzhledem k relativně velkým objemům zde nebyl tlak na produkci mnoha várek za den, ale spíše na kvalitu výsledného produktu. Stěžejní část práce se zabývá automatizací scezovací kádě, která je považována za nejsložitější soubor k automatizaci na celém pivovaru.

V první části této práce je stručně popsán celý výrobní proces piva. Podrobněji se zde však popisuje výroba mladiny, která probíhá právě na varně. Jsou zde popsány různé strategie a technologie pro výrobu mladiny z namačkaného sladu a je zde uvedeno i jejich porovnání.

V druhé části textu je popsán původní stav varny, provedené změny dle projektové dokumentace a stručný popis navrhovaných sekvencí. Je zde podrobněji popsáno jak byly zpřístupněny průmyslové automaty pro vzdálenou správu. Během psaní této práce bylo možné implementovat pouze automatické scezování a vzdálené ovládání rmutování. V této části je dále popsáno jak bude implementováno automatické rmutování ve druhé fázi modernizace varny.

Další část je věnována návrhu a implementaci řídicího systému včetně SCADA systému. Tato kapitola je rozdělena na tři části. První je věnována rozboru změn v řízení a ovládání jednotlivých souborů na varně. Je zde podrobněji popsána sekvence scezování a úkonů, které musí během tohoto procesu obsluha vykonat. V závěrem první části je popsáno, jak jsou ošetřeny jednotlivé havarijní stavy.

Druhá část této kapitoly se zabývá modifikací stávajícího řídicího systému, změnou hardwarové konfigurace, novému způsobu připojení k PLC a ověřením funkčnosti spojení včetně jednoduché diagnostiky. Je zde také nastíněno, jak lze celý proces implementace nové technologie výrazně zrychlit. Jsou zde dále stručně popsány nově implementované datové bloky, funkce a jejich účel.

Poslední část této kapitoly je věnována SCADA systému, jeho návrhu a připojení k PLC. Zde je popsána struktura zvoleného SCADA systému a jeho výhody oproti konkurenci. Dále je popsán postup použití editoru projektu, modernizace stávajících obrazovek a tvorby nových obrazovek. Jsou zde popsány funkce jednotlivých prvků i jak se ovládá celá technologie včetně nastavení parametrů a receptur.

Poslední kapitola popisuje postup testování, ladění a nasazení u zákazníka. Je zde také přiložen záznam scezování, který dokazuje funkčnost celého systému tak, jak byl navržen.

# Literatura

- [1] ALFA LAVAL; SPIRAX SACRO: *Steam and Plate Heat Exchangers. A technical guide to the effective use of steam in plate heat exchangers*. ALFA LAVAL and SPIRAX SACRO, 2006.
- [2] CHRISTIE, D.: Život je dávkový proces... a pak plánujte inteligentní automatizované řešení. *AUTOMA*, , č. 3, 2003. Dostupné z: [http://automa.cz/index.php?id\\_document=28863](http://automa.cz/index.php?id_document=28863)
- [3] D W FLEMING, V. A. P.: *S88 implementation guide: strategic automation for the process industries*. Printed in the USA, 1999, ISBN 0-07-021697-5.
- [4] ENGE, J.: Historie, současnost a budoucnost automatizace v pivovarech. In *Automatizace a modernizace pivovarů: 6. ročník mezinárodní konference, 14. dubna 2016, Chodová Planá: pivovar Chodovar*, 2016, s. 60–63.
- [5] ENGE, J.; ŠEMÍK, P.; KORBEL, J.; aj.: Technologické aspekty infuzních a dekokčních způsobů rmutování. *KVASNÝ PRŮMYSL*, , č. 5, 2005: s. 158–165.
- [6] KOSAŘ K.; PROCHÁZKA S.[eds.]: *Technologie výroby sladu a piva*. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, 2000, 398 s.
- [7] PROJECTSOFT: *TomPack*. Uživatelská příručka, Projectsoft, 2006.
- [8] PROJECTSOFT: *UniServer*. Uživatelská příručka, Projectsoft, 2008.
- [9] PUSCH, M.: *NETLink Ethernet Gateways for MPI/PPI/PROFIBUS*. Manuál, Systeme Helmholtz, 2012. Dostupné z: [https://www.helmholtz.de/dnl/Manual\\_NETLink-Ethernet-Products\\_1.zip](https://www.helmholtz.de/dnl/Manual_NETLink-Ethernet-Products_1.zip)
- [10] SARABIA, E. G.; LLATA, J. R.; FERNANDEZ, D.; aj.: Lauter Tun control by neural networks. In *Information Intelligence and Systems, 1999. Proceedings. 1999 International Conference on*, Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE), 1999, s. 242–248, doi:10.1109/ICIIS.1999.810268.
- [11] SCHLEGEL, M.: *Průmyslové PID regulátory*. Tutoriál, Rexcontrols, 2003.
- [12] SIEMENS AG: *System Software for S7-300/400 System and Standard Functions*. Reference Manual, SIEMENS AG, 2010.
- [13] ZEZULKA, F.; PÁSEK, J.; FINDURA, M.; aj.: *Automatizace procesů*. VUT v Brně, 2012.

# Seznam zkratek

ADO - ActiveX Data Objects

AI - Analog Input

AO - Analog Output

CIP - Clean In Place

CKT - Cylindrokónický tank

COM - Component Object Model

DB - Datový blok

DDE - Dynamic Data Exchange

DI - Digital Input

DO - Digital Output

EBC - European Brewery Convention

FB - Funkce

FC - Funkční blok

FM - Frekvenční měnič

GSD - General Station Description

HGB - High Gravity Brewing

MaR - Měření a Regulace

MP - Mladinová pánev

MPI - Multi point interface (Sběrnice)

OB - Organizační blok

OP - Operation panel

OPC - OLE for Process Control

PLC - Programable logick controler

PPI - Point to Point Interface

RP - Rmutovací pánev

RTD - Resistance Temperature Detector

SCADA - Supervisory Control And Data Acquisition

SFB - Speciální funkční blok

SFC - Speciální funkce

SK - Scezovací kád'

SOL - Řízeno solenoidem (tlakový vzduch)

T-akt - Aktuální čas kroku

TSAP - Transport Service Access Point

UDT - Uživatelsky definovaný typ

VK - Vířivá kád'

VP - Vystírací pánev

# Seznam Příloh

Příloha 1 Technologické schéma scezovací kádě.

Příloha 2 Technologické schéma rmutovystírací soupravy.

Příloha 3 Vybrané části z projektu elektro a MaR.